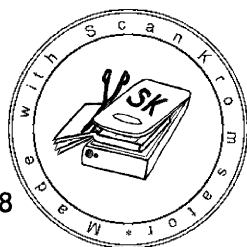


М. А. ЧЕРНЫЙ

# АВИАЦИОННАЯ АСТРОНОМИЯ



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1978



22.6  
Ч 45  
УДК 629.7.527.004(022)

**Черный М. А.**

Ч45 Авиационная астрономия. — М.: Транспорт, 1978 —  
208 с., ил., табл.  
90 к.

В книге изложены основы теории авиационной астрономии. Рассмотрены принцип работы, устройство и практическое применение современных астрономических средств самолетовождения. Освещены системы измерения времени. Систематизированы и обобщены вопросы, связанные с вычислениями моментов восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты, линий положения и места самолета по небесным светилам. Даны упрощенные способы определения экваториальных координат Солнца и звездного времени. Большое внимание уделено решению практических задач авиационной астрономии. Книга снабжена необходимыми для расчетов таблицами и графиками.

Книга предназначена для летно-штурманского состава гражданской авиации, а также может быть использована в качестве учебного пособия в училищах, школах и в учебно-тренировочных отрядах.

Ч 31808-092  
049(01)-78 92-78

ББК 22.6  
52

© Издательство «Транспорт», 1978

**МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЧЕРНЫЙ**

### АВИАЦИОННАЯ АСТРОНОМИЯ

Рецензент *И. И. Кононов*  
Редактор *И. В. Мариян*  
Обложка художника *Е. Н. Волкова*  
Технический редактор *Т. А. Гусева*  
Корректоры *В. Я. Кинареевская, О. М. Зверева*



ИБ № 1180

Сдано в набор 1.06 1977 г. Подписано в печать 16 03 1978 г. Т-00762.  
Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup>. Бум. тип. № 2. Гарн. литературная. Печ. высокая. Печ. л. 13  
Уч-изд. л. 15,5 Тираж 13.000. Заказ № 3465. Цена 85 коп. Изд. № 1-3-1470 № 8976  
Издательство «Транспорт», Москва, Басманный туп., 6, а.

г. Куйбышев, проспект Карла Маркса, 201. Типография изд-ва «Волжская коммуна».

Астрономия — наука о строении и развитии Вселенной. Слово астрономия происходит от двух греческих слов: *астрон* — звезда, светило и *номос* — закон. Следовательно, астрономия занимается изучением законов движения, строения, происхождения и развития небесных тел и их систем.

Свое начало эта наука берет в глубокой древности. Она возникла на основе практических потребностей человека. Древним людям нужно было ориентироваться на местности при передвижениях, вести счет времени и определять смену времен года. Эти первые жизненные задачи привели человека к открытию некоторых закономерностей в природе. Систематические наблюдения за небесными светилами позволили человеку установить, что с появлением на небе некоторых звезд наступает период дождей или морозов, что промежуток времени между двумя последовательными новолуниями в среднем равен 29 суткам, что в момент наибольшей дневной высоты Солнца можно точно указать, где юг и где север. Наблюдения за небесными светилами для указанных целей велись еще за 3000 лет до нашей эры. Из них и возникла наука о небесных телах — астрономия. Она развивалась вместе с развитием человеческого общества, с выдвиганием все более сложных задач.

Особенно быстрым было развитие астрономии в XV—XVI вв., т. е. в эпоху великих географических открытий. Далекие путешествия через океан требовали применения астрономии для кораблевождения.

Начало новому этапу в развитии астрономии положило учение великого польского астронома Николая Коперника. Его гелиоцентрическая система мира, опубликованная в 1543 г., произвела величайший переворот не только в астрономии, но и в воззрении людей на устройство мира. Революционным актом в естествознании назвал Ф. Энгельс бессмертное учение Коперника. Это учение оказало большое влияние на все дальнейшее развитие науки. На его основе были открыты Кеплером законы движения планет и Ньютоном закон всемирного тяготения.

Следующий очень важный этап в развитии астрономии начался в конце XIX в., когда, кроме телескопических наблюдений, стали применяться фотографические и спектроскопические методы исследования. Эти методы позволили начать изучение физических свойств и химического состава небесных светил и перейти к исследованию более отдаленных небесных тел. Этот раздел астрономии получил название астрофизики.

С середины XX в. стала развиваться радиоастрономия, которая позволила еще больше расширить границы исследуемого пространства Вселенной. Если с помощью современных оптических телескопов можно увидеть космические объекты, находящиеся не дальше 5—6 млрд. световых лет от нашей планеты, то с

помощью радиотелескопов принимаются радиосигналы от космических радиоисточников, удаленных от нас до 40 млрд. световых лет. Современные средства исследований позволяют успешно изучать не только нашу галактику, но и другие весьма удаленные звездные системы.

После запуска первого советского искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. ближайшие небесные тела стали доступны человеку для непосредственного изучения. Проникновение человека в космос помогает ему получить новые данные, которые уже в недалеком будущем должны уточнить очень многое в строении и развитии Вселенной.

За многие века своего развития астрономия превратилась в широкоразвитую науку. Она имеет сейчас несколько разделов, которые по существу оформились в самостоятельные отрасли науки.

Развитие человеческого общества выдвигает перед астрономией все новые и новые задачи. Астрономия, изучая строение и развитие Вселенной, одновременно помогает решать многие практические задачи. Например, развитие астрономии помогло определить форму и размеры Земли, а затем на этой основе составить точные топографические карты, широко используемые в авиации и морском флоте.

Астрономические методы позволяют определять географические координаты пунктов на земной поверхности. По результатам наблюдений за движением небесных светил вычисляют точное время. Широко применение в практике имеют астрономические методы ориентировки, применяемые в мореплавании и в авиации. Практическая астрономия в морском флоте и в авиации выделена в самостоятельные отрасли науки — мореходную астрономию и авиационную астрономию.

Авиационная астрономия — это наука, изучающая теорию использования небесных светил для самолетовождения, астрономические средства и практику их применения. Она представляет собой раздел общего курса самолетовождения.

Многие современные летательные аппараты оборудованы сложными навигационными комплексами. Полеты на этих летательных аппаратах повысили требования к уровню общей и специальной подготовки штурманов гражданской авиации. Эти требования обязывают штурманов, от работы которых во многом зависит точность, надежность и безопасность полетов, глубоко знать и в совершенстве владеть всеми средствами самолетовождения, в том числе и астрономическими, которые играют особенно важную роль в дальних и высотных полетах, а также при полетах в полярных районах.

Астрономические средства имеют ряд преимуществ в сравнении с другими средствами самолетовождения. Они автономны, т.е. не требуют наличия наземного оборудования, позволяют непосредственно определять истинный курс самолета, их можно



применять в любом месте земного шара. Особенно широкое применение они имеют при полетах в полярных районах, где пользование магнитным компасом ограничено, а иногда и полностью исключено. Точность решения навигационных задач с помощью этих средств не зависит ни от дальности, ни от продолжительности полета.

В нашей стране впервые астрономические приборы на самолетах были применены в 1913—1916 гг. Русские авиаторы использовали их в дальних полетах на самолетах «Илья Муромец» и «Русский витязь».

Большое развитие авиационная астрономия получила после Великой Октябрьской социалистической революции, когда Коммунистическая партия и Советское правительство приняли ряд мер по созданию советской авиации, авиационных научно-исследовательских учреждений и подготовке авиационных кадров. Развитие отечественного самолетостроения вызвало значительный прогресс и в развитии средств самолетовождения.

В середине 20-х годов ускоренно проводились испытания по применению астрономической ориентировки. В 1927 г. работником аэронавигационного отдела А. Н. Волоховым было впервые определено место самолета с помощью астрономических средств.

В середине 30-х годов был создан солнечный указатель курса — прототип современного астрономического компаса.

Развитие авиационной астрономии в нашей стране проходило на основе многовекового опыта мореходной астрономии. Ученые и авиационные штурманы не просто копировали методы мореходной астрономии, а творчески перерабатывали их применительно к условиям работы на самолетах. Одновременно с разработкой способов и средств самолетовождения проводилась их проверка на практике. В мае 1937 г. был выполнен полет отряда тяжелых кораблей на Северный полюс под руководством штурмана И. Т. Спирина. Отряд доставил на Северный полюс первую в мире советскую экспедицию, возглавляемую И. Д. Папаниным. Эта сложная для того времени задача мирового значения была выполнена успешно благодаря достижениям советской теории и практики самолетовождения.

В книге «Покорение Северного полюса» И. Т. Спирин указывает: «Единственно точной и неизменно безотказной мы считали лишь воздушную астрономию, и это целиком подтвердилось в перелете; только она выручала нас в трудные минуты, вела и точно привела к намеченной цели».

Особо важную роль астрономические средства сыграли в первых героических перелетах через Северный полюс экипажей В. П. Чкалова и М. М. Громова, выполненных ими в июне—июле 1937 г. В этих перелетах, равных которым не знала история авиации, штурманы самолетов А. В. Беляков и С. А. Данилин, используя радионавигацию и авиационную астрономию, сумели добиться высокой точности самолетовождения над незнакомыми районами Арктики.

Новый этап в развитии авиационной астрономии начался в пятидесятых годах, когда высокий уровень развития радиоэлектроники, оптики и автоматики позволил создать автоматические астрокомпасы и астроориентаторы, осуществляющие автоматическую пеленгацию небесных светил, вычисление курса и координат места самолета. Автоматизация астрономических средств повысила их роль в самолетовождении и упростила пользование ими. Появление автоматического астрокомпаса на самолете позволило объединить его с магнитными и гироскопическими средствами измерения курса в единую курсовую систему.

На протяжении всей истории развития авиационной астрономии советские ученые, штурманы и конструкторы не только разрабатывали новые образцы астрономических приборов, но и непрерывно совершенствовали методы астроориентировки.

Большие перспективы для развития авиационной астрономии раскрываются в настоящее время в связи с работами над решением проблемы пеленгации звезд в условиях дневного полета и применения искусственных спутников Земли в целях самолетовождения, а также в связи с появлением самолетного автоматического солнечного радиосекстанта. Использование приборов, позволяющих пеленговать небесные светила в любое время суток независимо от погоды, а также вычислителей для автоматического расчета элементов линии положения самолета позволит более широко применять авиационную астрономию для решения основных задач самолетовождения.

Астрономические средства, несмотря на недолгую историю своего развития, прочно вошли в комплекс средств самолетовождения, и в ближайшем будущем достижения в области точности измерений повысят их роль как автономных средств, обеспечивающих полеты на любые расстояния.

За последние годы наряду с другими средствами самолетовождения дальнейшее совершенствование и развитие получили астрономические средства. Появление таких навигационных устройств, как астроориентаторы и астроинерциальные системы, еще выше подняло значение астрономических средств.

С древнейших времен небесные светила использовались для ориентировки. Еще знаменитый Христофор Колумб, открывший в 1492 г. Америку, говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

В настоящее время небесные светила стали еще более надежными ориентирами, чем это было в эпоху великих географических открытий, когда корабли отважных мореплавателей впервые пересекали неизведанные просторы океанов. Теперь по небесным светилам научились определять курс самолета и его место над земной поверхностью, использовать их для навигации космических кораблей. Все это не может не заставить современного штурмана со всей серьезностью относиться к изучению астрономии.

## СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

## 1. НЕБЕСНАЯ СФЕРА, ЕЕ ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ, ЛИНИИ И КРУГИ

Все небесные светила находятся на необычайно больших и весьма различных расстояниях от нас. Но нам они представляются одинаково удаленными и как будто расположенными на некоторой сфере. При решении практических задач по авиационной астрономии важно знать не расстояние до светил, а их положение на небесной сфере в момент наблюдения.

Небесной сферой называется воображаемая сфера бесконечно большого радиуса, центром которой является наблюдатель. При рассмотрении небесной сферы ее центр совмещают с глазом наблюдателя. Размерами Земли пренебрегают, поэтому центр небесной сферы часто совмещают также с центром Земли. Светила на сферу наносят в таком положении, в каком они видны на небе в некоторый момент времени из данной точки нахождения наблюдателя.

Небесная сфера имеет ряд характерных точек, линий и кругов. На рис. 1.1 кругом произвольного радиуса изображена небесная сфера, в центре которой, обозначенной точкой  $O$ , расположен наблюдатель. Рассмотрим основные элементы небесной сферы.

Вертикаль наблюдателя  $ZOZ'$  — прямая, проходящая через центр небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в точке наблюдателя. Зенит  $Z$  — точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, расположенная над головой наблюдателя. Надир  $Z'$  — точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, противоположная зениту.

Истинный горизонт  $СВЮЗ$  — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к вертикали наблюдателя. Истинный горизонт делит небесную сферу на две части: надгоризонтную полусферу, в которой расположен зенит, и подгоризонтную полусферу, в которой расположен надир.

Ось мира  $PP'$  — прямая, вокруг которой происходит видимое суточное вращение небесной сферы. Ось мира параллельна

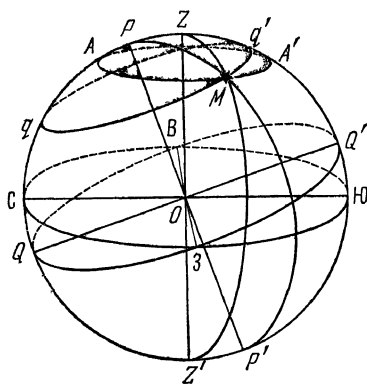


Рис. 1. 1. Основные точки, линии и круги на небесной сфере

оси вращения Земли, а для наблюдателя, находящегося на одном из полюсов Земли, она совпадает с осью вращения Земли. Видимое суточное вращение небесной сферы является отражением действительного суточного вращение Земли вокруг своей оси.

Полюсы мира — точки пересечения оси мира с небесной сферой. Полюс мира, находящийся в области созвездия Малой Медведицы, называется Северным полюсом мира  $P$ , а противоположный полюс называется Южным  $P'$ .

Небесный экватор  $QBQ'Z$  — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на северную полусферу, в которой расположен Северный полюс мира, и южную полусферу, в которой расположен Южный полюс мира.

Небесный меридиан, или меридиан наблюдателя,  $PZP'Z'$  — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира, зенит и надир. Он совпадает с плоскостью земного меридиана наблюдателя и делит небесную сферу на восточную и западную полусферы.

Точки севера и юга — точки пересечения небесного меридиана с истинным горизонтом. Точка, ближайшая к Северному полюсу мира, называется точкой севера истинного горизонта  $C$ , а точка, ближайшая к Южному полюсу мира, — точкой юга  $Ю$ . Точки востока и запада — точки пересечения небесного экватора с истинным горизонтом.

Полуденная линия — прямая линия в плоскости истинного горизонта, соединяющая точки севера и юга. Полуденной называется эта линия потому, что в полдень по местному истинному солнечному времени тень от вертикального шеста совпадает с этой линией, т. е. с истинным меридианом данной точки.

Южная и северная точки небесного экватора — точки пересечения небесного меридиана с небесным экватором. Точка, ближайшая к южной точке горизонта, называется точкой юга небесного экватора  $Q'$ , а точка, ближайшая к северной точке горизонта, — точкой севера  $Q$ .

Вертикал светила, или круг высоты,  $ZMZ'$  — большой круг на небесной сфере, проходящий через зенит, надир и светило. Первый вертикал — вертикал, проходящий через точки востока и запада.

Круг склонения, или часовой круг светила,  $RMP'$  — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира и светило.

Суточная параллель светила  $qMq'$  — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости небесного экватора. Видимое суточное движение светил происходит по суточным параллелям.

Альмукантарат светила  $AMA'$  — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости истинного горизонта.

Рассмотренные элементы небесной сферы широко используются в авиационной астрономии.

## 2. СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

При решении разнообразных задач авиационной астрономии приходится определять положение светил на небесной сфере. Для этого пользуются системами небесных координат. В зависимости от целей и условий измерения в авиационной астрономии применяют две системы сферических небесных координат. В одной системе светило ориентируют относительно истинного горизонта и называют эту систему горизонтальной, а в другой — относительно небесного экватора и называют экваториальной. В каждой из этих систем положение светила на небесной сфере определяется двумя угловыми величинами подобно тому, как при помощи широты и долготы определяется положение точек на поверхности Земли.

**Горизонтальная система небесных координат.** Основной плоскостью в этой системе небесных координат является плоскость истинного горизонта, а полюсами являются зенит и надир. Положение светила в этой системе координат определяется азимутом и высотой светила (рис. 1.2)

Азимутом светила  $A$  называется двугранный угол в плоскости истинного горизонта, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью вертикала светила. Азимут отсчитывается от северного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки от 0 до  $360^\circ$ . Светила, находящиеся на одном вертикале, имеют одинаковые азимуты.

Положение светила на вертикале определяется другой координатой — высотой. Высотой светила  $h$  называется угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило из центра небесной сферы. Высоту можно измерять также дугой вертикала от плоскости истинного горизонта до альмукантарата светила. Высота измеряется от 0 до  $\pm 90^\circ$ .

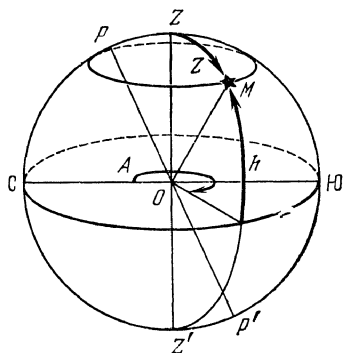
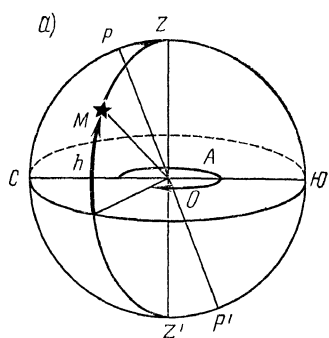


Рис. 1. 2. Горизонтальная система небесных координат



Положительные высоты отсчитываются к зениту, а отрицательные к надиру, т. е. светила, находящиеся над горизонтом, имеют положительную высоту, а находящиеся под горизонтом — отрицательную. Вместо высоты светила иногда пользуются другой координатой — зенитным расстоянием.

Зенитным расстоянием  $Z$  называется угол в плоскости вертикала, заключенный между вертикалью наблюдателя и направлением на светило из центра небесной сферы. Зенитное расстояние отсчитывается от точки зенита до направления на светило от  $0$  до  $180^\circ$ .

Между высотой и зенитным расстоянием светила существует следующая зависимость:

$$h + Z = 90^\circ, \text{ откуда}$$

$$Z = 90^\circ - h; h = 90^\circ - Z.$$

Светила, находящиеся на одном альмукантарате, имеют одинаковые высоты и одинаковые зенитные расстояния.

Горизонтальные координаты светил непрерывно и неравномерно изменяются вследствие суточного вращения Земли. Они изменяются также и с переменой места наблюдателя. Однако горизонтальные координаты удобны тем, что их можно непосредственно измерить с помощью специальных приборов и по ним легко можно представить положение светила на небесной сфере. Ниже приведены примеры графического изображения положения светил на небесной сфере по заданным горизонтальным координатам.

**Пример 1.** Азимут светила  $A = 300^\circ$ ; высота светила  $h = +50^\circ$ .

**Пример 2.** Азимут светила  $A = 50^\circ$ ; зенитное расстояние светила  $Z = 120^\circ$ .

Рис. 1. 3. Положение светил на небесной сфере:  
 $a$  — для  $A = 300^\circ$ ;  
 $b$  — для  $A = 50^\circ$ ;  
 $Z = 120^\circ$

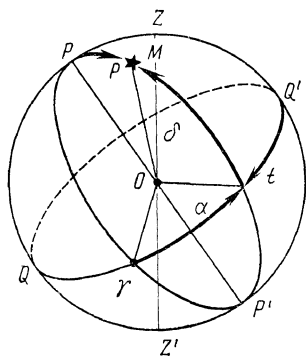
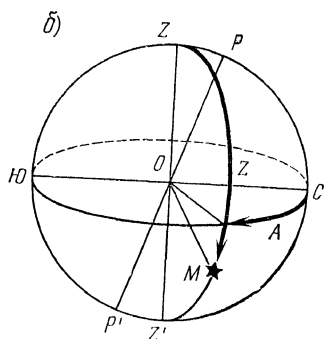


Рис. 1. 4. Экваториальная система небесных координат

Положение светил на небесной сфере для данных примеров показано на рис. 1.3.

**Экваториальная система небесных координат.** Основной плоскостью в этой системе небесных координат является плоскость небесного экватора, а полюсами являются полюсы мира. Положение светила в этой системе координат определяется склонением и часовым углом светила (рис. 1.4).

Склонением светила  $\delta$  называется угол, заключенный между плоскостью небесного экватора и направлением на светило из центра небесной сферы. Склонение светила измеряется от 0 до  $\pm 90^\circ$ . Положительное склонение отсчитывается в направлении к Северному полюсу мира, а отрицательное — к Южному. Склонение Солнца, Луны и планет дано в Авиационном астрономическом ежегоднике (ААЕ) для каждого часа гринвичского времени (приложение 5), а навигационных звезд — в таблице экваториальных координат звезд на начало каждого года (приложение 2) ввиду изменения его за год всего на 1—2'. Иногда вместо склонения светила пользуются другой координатой — полярным расстоянием.

Полярным расстоянием  $P$  называется угол в плоскости круга склонения, заключенный между осью мира и направлением на светило из центра небесной сферы. Полярное расстояние отсчитывается от Северного полюса мира к Южному от 0 до  $180^\circ$ . Между полярным расстоянием и склонением светила имеется следующая зависимость:

$$P + \delta = 90^\circ. \text{ Откуда } P = 90^\circ - \delta; \delta = 90^\circ - P.$$

Светила, находящиеся на одной суточной параллели, имеют одинаковые склонения и одинаковые полярные расстояния.

Склонение, или полярное расстояние, определяет положение светила на круге склонения.

Положение же самого круга склонения на небесной сфере определяется часовым углом светила.

Часовым углом светила  $t$  называется двугранный угол в плоскости небесного экватора, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга склонения светила.

Часовой угол отсчитывается от южного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки (к западу) до круга склонения светила от 0 до  $360^\circ$ . Важно знать, что отсчет часового угла светила ведется в направлении суточного вращения небесной сферы.

При решении некоторых задач для удобства часовые углы светил отсчитывают от 0 до  $180^\circ$  к западу и востоку и соответственно обозначают их  $t_з$  и  $t_в$ . В Авиационном астрономическом ежегоднике даны западные часовые углы светил от 0 до  $360^\circ$ , а

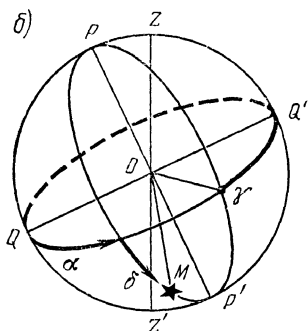
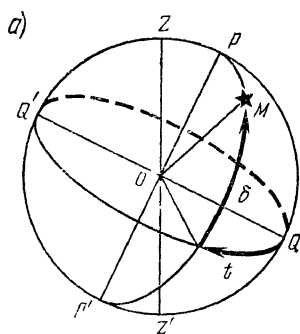


Рис. 1. 5. Положение светила на небесной сфере:

$a$  — для  $t_2 = 230^\circ$ ;  $\delta_a = +60^\circ$ ,  
 $b$  — для  $\alpha = 300^\circ$ ;  $\delta_b = -60^\circ$

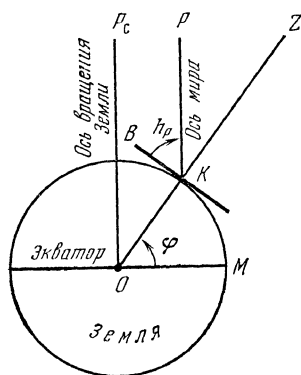


Рис. 1. 6. Зависимость между высотой полюса мира и географической широтой

в расчетных таблицах для Солнца, Луны и планет — от  $0$  до  $180^\circ$ .

В практике авиационной астрономии важное значение имеет зависимость между часовым углом светила и долготой места наблюдателя. Выше указывалось, что часовой угол светила принято отсчитывать к западу от небесного меридиана. Так как плоскость небесного меридиана совпадает с географическим меридианом наблюдателя, то в один и тот же момент времени часовые углы одного и того же светила для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будут различны.

Очевидно, что в один и тот же момент времени разность местных часовых углов светила равна разности долгот наблюдателей  $t_2 - t_1 = \lambda_2 - \lambda_1$ . Если принять в данном соотношении  $\lambda_1 = 0$ , то  $t_1 = t_{гр}$ . Принимая  $\lambda_2 = \lambda$  и  $t_2 = t$ , получаем  $t = t_{гр} \pm \lambda_B$ . Как видно из полученной формулы, местный часовой угол светила отличается от гринвичского на значение долготы наблюдателя. В практике часто вместо часового угла светила пользуются другой координатой — прямым восхождением светила.

Прямым восхождением светила  $\alpha$  называется угол, заключенный между плоскостью круга склонения точки весеннего равноденствия (начального круга склонения) и плоскостью круга склонения светила.

Точкой весеннего равноденствия называется точка пересечения плоскости небесного экватора центром Солнца (21 марта) при его видимом годовом движении по небесной сфере. Эту точку принято обозначать символом созвездия Овен  $\Upsilon$ , в котором она находилась в эпоху зарождения астрономии.

Прямое восхождение светила отсчитывается в плоскости небесного экватора от точки весеннего равноденствия против хода часовой стрелки (к востоку) до круга склонения светила от  $0$  до  $360^\circ$ . Прямое восхождение светила и его часовой угол можно измерять не только углом, но и дугой небесного экватора, а склонение и полярное расстояние светила — дугой круга склонения.



В авиационной астрономии экваториальная система небесных координат подразделяется на две системы.

В первой экваториальной системе положение светила на небесной сфере определяется склонением и часовым углом, а во второй — прямым восхождением и склонением светила. Первая экваториальная система берется в основу при разработке и создании астрономических компасов, а также при составлении расчетных таблиц. Вторую экваториальную систему используют для составления звездных карт и таблиц экваториальных координат звезд.

Экваториальная система небесных координат является более практичной по сравнению с горизонтальной. Она имеет большое практическое значение в авиационной астрономии. С этой системой связано измерение времени и определение места самолета, т. е. решение главных вопросов практической авиационной астрономии.

Основным ее достоинством является то, что экваториальные координаты светил не зависят от места наблюдателя на земной поверхности, за исключением местного часового угла. Часовой угол светила зависит не только от долготы места наблюдателя, но и от времени наблюдения. Он непрерывно изменяется пропорционально времени, и это позволяет учитывать в астрокомпасах при помощи часового механизма его изменение за счет вращения Земли.

Склонение и прямое восхождение светил, как это будет подробнее рассмотрено дальше, также изменяются со временем, но значительно медленнее, чем изменяются горизонтальные координаты. Их изменение происходит вследствие того, что небесный экватор и точка весеннего равноденствия непрерывно изменяют свое положение в пространстве из-за прецессии оси вращения Земли. Ниже приведены примеры графического изображения положения светил на небесной сфере по заданным экваториальным координатам.

**Пример 1.** Западный часовой угол светила  $t_3 = 230^\circ$ ; склонение светила  $\delta = +60^\circ$ .

**Пример 2.** Прямое восхождение светила  $\alpha = 300^\circ$ ; склонение светила  $\delta = -60^\circ$ .

Положение светил на небесной сфере для данных примеров показано на рис. 1.5.

### 3. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ВЫСОТОЙ ПОЛЮСА МИРА И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТОЙ

Вид звездного неба зависит от положения наблюдателя на поверхности Земли. Но по общему виду звездного неба трудно определить географическую широту места наблюдателя. Наиболее просто широту места наблюдателя можно определить по высоте полюса мира. Зависимость между высотой полюса мира и географической широтой можно легко установить на рис. 1.6.

Наблюдатель, находясь на поверхности Земли в точке  $K$ , увидит полюс мира в точке  $P$ . Ось мира и ось вращения Земли параллельны, так как расстояние до полюса мира бесконечно большое. Угол  $МОК$  является широтой места, а угол  $ВКР$  — высотой полюса мира. Угол  $МОК$  равен углу  $ВКР$ , как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Следовательно, географическая широта места наблюдателя равна высоте полюса мира, т. е.  $\varphi = h_p$ . Это равенство имеет большое практическое значение. Оно позволяет по измеренной высоте полюса мира определять широту места самолета. В Северном полушарии это практически производят по Полярной звезде, которая расположена от Северного полюса мира на расстоянии менее  $1^\circ$ . Измерив высоту этой звезды и введя в ее значение некоторую поправку, учитывающую положение Полярной звезды на небесной параллели в момент измерения, получают географическую широту места наблюдения.

#### 4. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

В практике часто приходится преобразовывать координаты светил из одной системы в другую. При решении учебных задач преобразование небесных координат наиболее просто и быстро можно произвести графическим способом.

**Пример 1.** Широта места наблюдателя  $\varphi_c = 60^\circ$ ; экваториальные координаты светила:  $t_3 = 30^\circ$ ;  $\delta = +40^\circ$ . Определить горизонтальные координаты светила  $A$  и  $h$ .

**Решение 1.** Построим с помощью циркуля небесную сферу в виде окружности произвольного радиуса (рис. 1.7).

2. Проведем вертикаль наблюдателя и в точках ее пересечения с небесной сферой обозначим точки зенита и надира.

3. Нанесем плоскость истинного горизонта.

4. Проведем ось мира под углом к плоскости истинного горизонта, равным широте места, и обозначим полюсы мира.

5. Нанесем плоскость небесного экватора.

6. Обозначим точки севера и юга, востока и запада на плоскости истинного горизонта и точки севера и юга на плоскости небесного экватора.

7. Отложим на глаз в плоскости небесного экватора от южного направления меридиана наблюдателя заданный часовой угол светила.

8. Через полученную точку на небесном экваторе проведем круг склонения светила и отложим заданное склонение светила.

9. Обозначим положение светила на небесной сфере и проведем через него вертикаль светила.

10. Определяем на глаз азимут и высоту светила:  $A = 250^\circ$ ;  $h = +50^\circ$ .

**Пример 2.** Широта места наблюдателя  $\varphi_c = 45^\circ$ ; горизонтальные координаты светила:  $A = 120^\circ$ ;  $h = +60^\circ$ . Определить экваториальные координаты светила  $\delta$  и  $t$ .

**Решение 1.** Построим небесную сферу и нанесем на нее основные точки, линии и круги (рис 1.8).

2. Отложим на глаз в плоскости истинного горизонта от северного направления меридиана наблюдателя заданный азимут светила.

3. Через полученную точку на плоскости истинного горизонта проведем вертикаль светила и отложим заданную высоту светила.

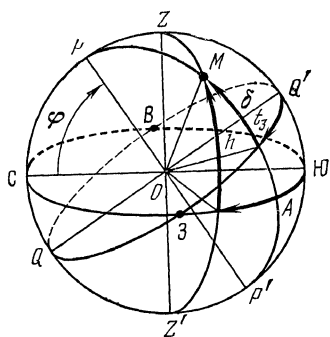


Рис. 1.7. Графическое определение  $A$  и  $h$

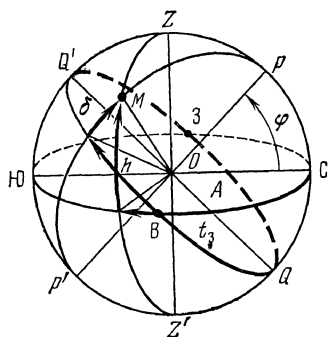


Рис. 1.8. Графическое определение  $t$  и  $\delta$

4. Обозначим положение светила на небесной сфере и проведем через него круг склонения светила.

5. Определяем на глаз часовой угол и склонение светила:  $t_3 = 330^\circ$ ;  $\delta = +20^\circ$ .

Графическое преобразование небесных координат дает приближенные данные. Точное преобразование их производится математическим способом путем решения параллактического треугольника по формулам сферической тригонометрии.

## 5. ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ ТРЕУГОЛЬНИК И ЕГО РЕШЕНИЕ

Математический способ преобразования координат связан с решением параллактического треугольника.

Параллактическим, или полярным, треугольником называется треугольник на небесной сфере, вершинами которого являются полюс мира, зенит и светило, а сторонами — дуги вертикала, круга склонения и небесного меридиана (рис. 1.9). Первое название треугольника связано с наименованием одного из его углов, а второе — с тем, что одной из его вершин является полюс мира.

Основными элементами параллактического треугольника являются стороны и углы. Стороны треугольника равны: дуга вертикала светила  $ZM = 90^\circ - h$ ; дуга круга склонения  $PM = 90^\circ - \delta$ ; дуга небесного меридиана  $PZ = 90^\circ - \varphi$ . Углы треугольника:  $ZPM = t$ ;  $PZM = 360^\circ - A$ ;  $PMZ = q$ .

Последний угол называется параллактическим углом.

В параллактическом треугольнике представлены экваториальные координаты светила  $t$  и  $\delta$ , горизонтальные координаты светила  $A$  и  $h$  и координаты

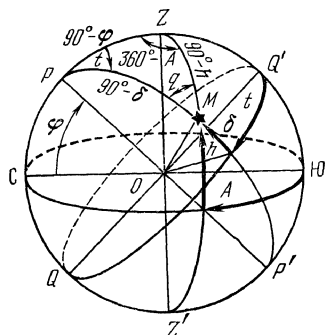


Рис. 1.9. Параллактический треугольник

места наблюдателя  $\varphi$  и  $\lambda$ , учитывая, что  $t = t_{\text{гр}} \pm \lambda_3^{\text{в}}$ . Решая его по формулам сферической тригонометрии, можно получить математическую зависимость, позволяющую переходить от одной системы небесных координат к другой. Выведем формулы перехода от экваториальных координат светила к горизонтальным, имеющие важное значение в авиационной астрономии. Для получения этих формул применим к параллактическому треугольнику теорему косинуса стороны сферической тригонометрии. Эта теорема, как известно, утверждает, что косинус стороны сферического треугольника равен произведению косинусов двух других сторон плюс произведение синусов этих сторон на косинус угла между ними.

Считая сторону  $90^\circ - h$  и угол  $t$  исходными, получим

$$\cos(90^\circ - h) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) \cos t.$$

После приведения к функциям острого угла

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t.$$

Эта формула позволяет рассчитать высоту светила по известным экваториальным координатам и географическим координатам места наблюдателя. Кроме того, формула может быть использована для вычисления часового угла светила и для определения времени его восхода и захода.

Теперь применим к параллактическому треугольнику теорему синусов сферической тригонометрии, согласно которой отношения синусов сторон сферического треугольника к синусам противолежащих им углов равны между собой. На основании этой теоремы получаем

$$\frac{\sin(90^\circ - \delta)}{\sin(360^\circ - A)} = \frac{\sin(90^\circ - h)}{\sin t}, \text{ или } \sin A = -\frac{\cos \delta}{\cos h} \sin t.$$

По этой формуле можно рассчитать азимут светила по его экваториальным координатам и его высоте. В тех случаях, когда высота светила неизвестна, азимут светила рассчитывают по формуле

$$\text{ctg } A = \sin \varphi \text{ ctg } t - \cos \varphi \text{ tg } \delta \text{ cosec } t.$$

Указанные формулы называют основными уравнениями авиационной астрономии. По ним рассчитаны таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет (ТВА) и таблицы высот и азимутов звезд (ТВАЗ), которые ускоряют в полете вычисления высот и азимутов светил для определения места самолета.

## 6. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СВЕТИЛ

Чтобы понять видимое движение Солнца и других светил на небесной сфере, рассмотрим истинное движение Земли. Земля является одной из планет солнечной системы. Она непрерывно вращается вокруг своей оси. Период вращения ее равен одним суткам. Поэтому наблюдателю, находящемуся на Земле, кажется, что все небесные светила обращаются вокруг Земли с восто-

ка на запад с тем же периодом. Но Земля не только вращается вокруг своей оси. Она обращается также вокруг Солнца по эллиптической орбите. Полный оборот вокруг Солнца она совершает за один год. Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом  $66^{\circ}33'$ . Положение оси в пространстве при движении Земли вокруг Солнца все время остается почти неизменным (рис. 1.10). Поэтому Северное и Южное полушария попеременно бывают обращены в сторону Солнца, в результате чего на Земле происходит смена времен года.

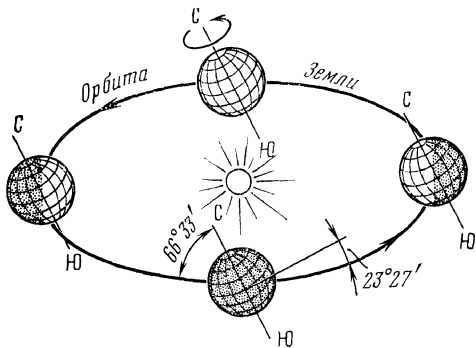


Рис. 1. 10. Наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты

При внимательном наблюдении неба можно заметить, что звезды на протяжении многих лет неизменно сохраняют свое взаимное расположение. Вследствие их чрезвычайной удаленности и весьма малых собственных движений относительно друг друга они с любой точки земной орбиты видны одинаково. Тела же солнечной системы — Солнце, Луна и планеты, которые находятся сравнительно недалеко от Земли, меняют свое положение среди звезд. Таким образом, Солнце наравне со всеми светилами участвует в суточном движении и одновременно имеет собственное видимое движение (оно называется годовым движением), обусловленное движением Земли вокруг Солнца.

Рассмотрим отдельно эти два главных видимых движения Солнца и разберемся, какие изменения они вносят в положение Солнца на небесной сфере.

**Видимое годовое движение Солнца.** Наиболее просто годовое движение Солнца можно объяснить по рис. 1.11, на котором изображена небесная сфера, Солнце и орбита Земли. Из этого рисунка видно, что в зависимости от положения Земли на орбите наблюдатель с Земли будет видеть Солнце на фоне разных созвездий. Ему будет казаться, что оно все время перемещается по небесной сфере. Это движение является отражением обращения Земли вокруг Солнца. За год Солнце сделает полный оборот.

Большой круг на небесной сфере, по которому происходит видимое годовое движение Солнца, называется эклиптической. Эклиптика — слово греческое и в переводе означает затмение. Этот круг назвали так потому, что затмения Солнца и Луны происходят только тогда, когда оба светила находятся на этом круге.

Следует отметить, что плоскость эклиптики совпадает с плоскостью орбиты Земли. Видимое годовое движение Солнца по эклиптике происходит в том же направлении, в котором Земля движется по орбите вокруг Солнца, т. е. оно перемещается к

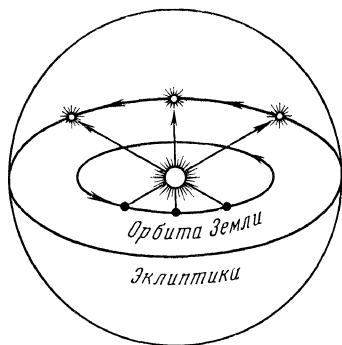


Рис. 1.11. Эклиптика

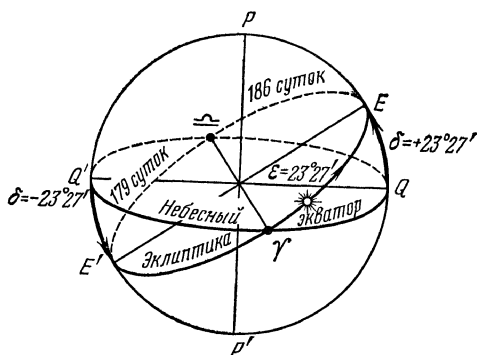


Рис. 1.12. Основные точки эклиптики

востоку. В течение года Солнце последовательно проходит по эклиптике 12 созвездий, которые образуют пояс Зодиака и называются зодиакальными. Зодиак — слово греческое, которое означает звериный круг (большинство созвездий этого круга имеют названия животных).

Пояс Зодиака образуют следующие созвездия: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог и Водолей. В каждом из них Солнце бывает примерно месяц. Эклиптика дается на специальной звездной карте, прилагаемой к Авиационному астрономическому ежегоднику (приложение 3). Вследствие того, что плоскость земного экватора наклонена к плоскости орбиты Земли на  $23^{\circ}27'$ , плоскость небесного экватора также наклонена к плоскости эклиптики на угол  $\epsilon = 23^{\circ}27'$ . Наклон эклиптики к экватору не сохраняется постоянным. В 1896 г. при утверждении астрономических постоянных решено было наклон эклиптики к экватору считать равным  $23^{\circ}27'8'',26$ .

Вследствие воздействия на Землю сил притяжения Солнца и Луны он постепенно изменяется в пределах от  $22^{\circ}59'$  до  $24^{\circ}36'$ . В данный период времени угол  $\epsilon$  равен  $23^{\circ}26'$  и непрерывно уменьшается на  $0,47''$  в год.

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках, которые называются точками весеннего и осеннего равноденствий (рис. 1.12). Точку весеннего равноденствия принято обозначать знаком созвездия Овен  $\Upsilon$ , а точку осеннего равноденствия — знаком созвездия Весов  $\♎$ . Солнце в этих точках соответственно бывает 21 марта и 23 сентября. В эти дни на Земле день равен ночи, Солнце точно восходит в точке востока и заходит в точке запада.

Точки эклиптики, отстоящие от точек равноденствий на  $90^{\circ}$ , называются точками солнцестояний. Точка E на эклиптике, в которой Солнце занимает самое высокое положение относительно небесного экватора, называется точкой летнего солнцестояния.

## Экваториальные координаты Солнца в основных точках эклиптики

Точка эклиптики	Дата прохождения Солнца через точку	Прямое восхождение	Склонение Солнца
$\gamma$	21 марта	0	0
$E$	22 июня	$90^\circ$	$+23^\circ 26'$
$\underline{\text{---}}$	23 сентября	$180^\circ$	0
$E'$	22 декабря	$270^\circ$	$-23^\circ 26'$

стояния, а точка  $E'$ , в которой оно занимает самое низкое положение, называется точкой зимнего солнцестояния. В точке летнего солнцестояния Солнце бывает 22 июня, а в точке зимнего солнцестояния — 22 декабря. В течение нескольких дней, близких к датам солнцестояний, полуденная высота Солнца остается почти неизменной, в связи с чем эти точки и получили такое название. Когда Солнце находится в точке летнего солнцестояния день в Северном полушарии самый длинный, а ночь самая короткая, а когда оно находится в точке зимнего солнцестояния — наоборот.

В день летнего солнцестояния точки восхода и захода Солнца максимально удалены к северу от точек востока и запада на горизонте, а в день зимнего солнцестояния они имеют наибольшее удаление к югу.

Движение Солнца по эклиптике приводит к непрерывному изменению его экваториальных координат, ежедневному изменению полуденной высоты и перемещению по горизонту точек восхода и захода.

Известно, что склонение Солнца отсчитывается от плоскости небесного экватора, а прямое восхождение — от точки весеннего равноденствия. Поэтому когда Солнце находится в точке весеннего равноденствия, его склонение и прямое восхождение равны нулю. В течение года склонение Солнца в настоящий период изменяется от  $+23^\circ 26'$  до  $-23^\circ 26'$ , переходя два раза в год через нуль, а прямое восхождение от 0 до  $360^\circ$  (табл. 1.1).

Экваториальные координаты Солнца в течение года изменяются неравномерно. Происходит это вследствие неравномерности движения Солнца по эклиптике и наклона эклиптики к экватору. Половину своего видимого годового пути Солнце проходит за 186 суток с 21 марта по 23 сентября, а вторую половину за 179 суток с 23 сентября по 21 марта. Неравномерность движения Солнца по эклиптике связана с тем, что Земля на протяжении всего

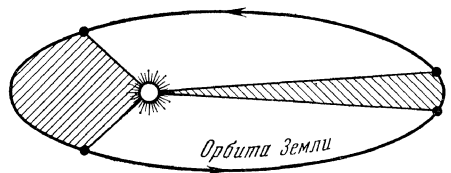


Рис. 1.13. Движение Земли по орбите

периода обращения вокруг Солнца движется по орбите не с одинаковой скоростью. Солнце находится в одном из фокусов эллиптической орбиты Земли (рис. 1.13).

Из второго закона Кеплера известно, что линия, соединяющая Солнце и планету, за равные промежутки времени описывает равные площади. Согласно этому закону Земля, находясь ближе всего к Солнцу, т. е. в перигелии, движется быстрее, а находясь дальше всего от Солнца, т. е. в афелии — медленнее. Ближе к Солнцу Земля бывает зимой, а летом — дальше. Поэтому в зимние дни она движется по орбите быстрее, чем в летние. Вследствие этого суточное изменение прямого восхождения Солнца в день зимнего солнцестояния равно  $1^{\circ}07'$ , тогда как в день летнего солнцестояния оно равно только  $1^{\circ}02'$ .

Различие скоростей движения Земли в каждой точке орбиты вызывает неравномерность изменения не только прямого восхождения, но и склонения Солнца. Однако за счет наклона эклиптики к экватору его изменение имеет другой характер. Наиболее быстро склонение Солнца изменяется вблизи точек равноденствия, а у точек солнцестояния оно почти не изменяется.

Знание характера изменения экваториальных координат Солнца позволяет производить приближенный расчет прямого восхождения и склонения Солнца. Для выполнения такого расчета берут ближайшую дату с известными экваториальными координатами Солнца. Затем учитывают, что прямое восхождение Солнца за сутки изменяется в среднем на  $1^{\circ}$ , а склонение Солнца в течение месяца до и после прохождения точек равноденствия изменяется на  $0,4^{\circ}$  в сутки; в течение месяца перед солнцестояниями и после них — на  $0,1^{\circ}$  в сутки, а в течение промежуточных месяцев между указанными — на  $0,3^{\circ}$ .

**Пример.** Рассчитать экваториальные координаты Солнца на 30 апреля.

Решение 1. Берем ближайшую дату с известными координатами Солнца. Ближайшая дата 21 марта, для которой  $\alpha=0$ ;  $\delta=0$ .

2. Определяем количество суток между датами: от 21 марта до 30 апреля 40 суток.

3. Рассчитываем прямое восхождение и склонение Солнца:  $\Delta\alpha = 1^{\circ} \cdot 40 = 40^{\circ}$ ;  $\alpha = 0 + 40^{\circ} = 40^{\circ}$ . Изменение склонения за месяц  $\Delta\delta_1 = 0,4^{\circ} \cdot 30 = 12^{\circ}$ . Изменение склонения за 10 дней  $\Delta\delta_2 = 0,3^{\circ} \cdot 10 = 3^{\circ}$ .

Следовательно,  $\delta = 0 + 12^{\circ} + 3^{\circ} = 15^{\circ}$ .

Знак склонения положительный, так как Солнце в апреле находится на эклиптике к северу от небесного экватора. Рассмотренный способ позволяет определять экваториальные координаты Солнца приближенно. Точный расчет их производят с помощью Авиационного астрономического ежегодника.

**Видимое движение и фазы Луны.** Луна является естественным спутником Земли и

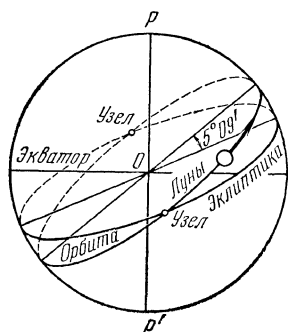


Рис. 1.14. Орбита Луны



ближайшим к ней небесным телом. Она обращается вокруг Земли по эллиптической орбите в том же направлении, что и Земля вокруг Солнца. Среднее расстояние Луны от Земли равно 384 400 км. Плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости эклиптики на  $5^{\circ}09'$  (рис. 1.14).

Точки пересечения орбиты Луны с эклипстикой называются узлами лунной орбиты. Движение Луны вокруг Земли для наблюдателя представляется как видимое ее движение по небесной сфере. Видимый путь Луны по небесной сфере называется видимой орбитой Луны. За сутки Луна перемещается по видимой орбите относительно звезд примерно на  $13,2^{\circ}$ , а относительно Солнца на  $12,2^{\circ}$ , так как Солнце за это время тоже перемещается по эклиптике в среднем на  $1^{\circ}$ . Промежуток времени, в течение которого Луна совершает полный оборот по своей орбите относительно звезд, называется звездным, или сидерическим, месяцем. Его продолжительность равна 27,32 средних солнечных суток.

Промежуток времени, в течение которого Луна совершает полный оборот по своей орбите относительно Солнца, называется синодическим месяцем. Он равен 29,53 средних солнечных суток. Сидерический и синодический месяцы различаются примерно на двое суток за счет движения Земли по своей орбите вокруг Солнца. На рис. 1.15 показано, что при нахождении Земли на орбите в точке 1 Луна и Солнце наблюдаются на небесной сфере в одном и том же месте, например на фоне звезды К. Через 27,32 сут, т. е. когда Луна сделает полный оборот вокруг Земли, она снова будет наблюдаться на фоне той же звезды. Но так как Земля вместе с Луной за это время переместится по своей орбите относительно Солнца примерно на  $27^{\circ}$  и будет находиться в точке 2, то Луне необходимо еще пройти  $27^{\circ}$ , чтобы занять прежнее положение относительно Земли и Солнца, на что понадобится около 2 сут. Таким образом, синодический месяц длиннее сидерического на отрезок времени, который нужен Луне, чтобы переместиться на  $27^{\circ}$ .

Период вращения Луны вокруг своей оси равен периоду ее обращения вокруг Земли. Поэтому Луна обращена к Земле всегда одной и той же стороной. Вследствие того, что Луна за одни сутки перемещается по небесной сфере с запада на восток, т. е. в сторону, обратную суточному движению небесной сферы, на  $13,2^{\circ}$ , ее восход и заход ежедневно запаздывают примерно на 50 мин. Это ежедневное запаздывание приводит к тому, что Луна непрерывно меняет свое положение относительно Солнца, но через строго определенный период времени вновь возвращается в исходное положение. В результате движения Луны по видимой орбите происходит непрерывное и быстрое изменение ее экваториальных

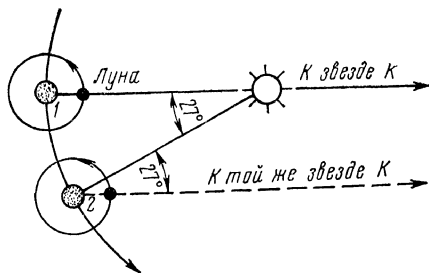


Рис. 1.15. Сидерический и синодический месяцы

координат. В среднем за сутки прямое восхождение Луны изменяется на  $13,2^\circ$ , а склонение — на  $4^\circ$ . Изменение экваториальных координат Луны происходит не только за счет ее быстрого движения по орбите вокруг Земли, но и вследствие необычайной сложности этого движения. На Луну действуют многие силы, имеющие различную величину и период, под влиянием которых все элементы лунной орбиты постоянно изменяются.

Наклон орбиты Луны к эклиптике колеблется в пределах от  $4^\circ 59'$  до  $5^\circ 19'$  за время, несколько меньшее полугода. Изменяются формы и размеры орбиты. Непрерывно с периодом 18,6 года меняется положение орбиты в пространстве, в результате чего происходит перемещение узлов лунной орбиты навстречу движению Луны. Это приводит к постоянному изменению угла наклона видимой орбиты Луны к небесному экватору от  $28^\circ 35'$  до  $18^\circ 17'$ . Поэтому пределы изменения склонения Луны не остаются постоянными. В некоторые периоды оно изменяется в пределах  $\pm 28^\circ 35'$ , а в другие —  $\pm 18^\circ 17'$ .

Склонение Луны и ее гринвичский часовой угол даются в ежедневных таблицах ААЕ на каждый час гринвичского времени (см. приложение 5).

Движение Луны на небесной сфере сопровождается непрерывным изменением ее внешнего вида. Происходит так называемая смена лунных фаз. Ф а з о й Л у н ы называется видимая часть лунной поверхности, освещенная солнечными лучами.

Рассмотрим, вследствие чего происходит изменение лунных фаз. Известно, что Луна светит отраженным солнечным светом. Половина ее поверхности всегда освещена Солнцем. Но вследствие различных взаимных положений Солнца, Луны и Земли освещенная поверхность представляется земному наблюдателю в разных видах (рис. 1.16). Принято различать четыре фазы Луны: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть.

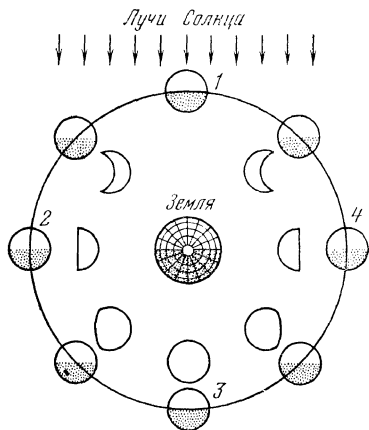


Рис. 1.16. Положения и фазы Луны:

1 — новолуние; 2 — первая четверть; 3 — полнолуние; 4 — последняя четверть

Во время новолуния Луна проходит между Солнцем и Землей. В этой фазе Луна обращена к Земле неосвещенной стороной, и поэтому она не видна земному наблюдателю. В фазе первой четверти Луна находится в таком положении, что наблюдатель видит ее в виде половины освещенного диска. Во время полнолуния Луна находится в направлении, противоположном направлению на Солнце. Поэтому к Земле обращена вся освещенная сторона Луны и она видна в виде полного диска. После полнолуния

видимая с Земли освещенная часть Луны постепенно уменьшается. Когда Луна достигает фазы последней четверти, она снова видна в виде половины освещенного диска. В Северном полушарии в первой четверти освещена правая половина диска Луны, а в последней — левая.

В промежутке между новолунием и первой четвертью и в промежутке между последней четвертью и новолунием к Земле обращена небольшая часть освещенной Луны, которая наблюдается в виде серпа. В промежутках между первой четвертью и полнолунием, полнолунием и последней четвертью Луна видна в виде ущербленного диска. Полный цикл смены лунных фаз происходит в течение строго определенного периода времени. Его называют периодом фаз. Он равен синодическому месяцу, т. е. 29,53 сут.

Промежуток времени между основными фазами Луны равен примерно 7 сут. Количество дней, прошедших с момента новолуния, принято называть возрастом Луны. С изменением возраста изменяются и точки восхода и захода Луны. Даты и моменты наступления основных фаз Луны по гринвичскому времени даны в ААЕ.

Движение Луны вокруг Земли является причиной лунных и солнечных затмений. Затмения происходят только тогда, когда Солнце и Луна одновременно располагаются вблизи узлов лунной орбиты. Солнечное затмение происходит, когда Луна находится между Солнцем и Землей, т. е. в период новолуния, а лунное — когда Земля находится между Солнцем и Луной, т. е. в период полнолуния.

**Видимое движение планет.** В состав Солнечной системы входит девять планет. Пять из них можно видеть на небе невооруженным глазом. Это планеты Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Среди звезд планеты выделяются своей яркостью. Но их видимое положение относительно звезд непостоянно. Они непрерывно перемещаются по небу, как бы блуждают среди звезд. Видимое движение планет происходит вблизи эклиптики, т. е. в поясе зодиакальных созвездий. В отличие от видимого движения Солнца и Луны оно имеет сложный характер, так как является отражением действительных движений Земли и планет по их орбитам вокруг Солнца.

По положению своих орбит относительно орбиты Земли планеты делятся на внутренние и внешние. Внутренние планеты обращаются вокруг Солнца внутри орбиты Земли, а внешние — за ее пределами. К внутренним планетам относятся Меркурий и Венера, а к внешним — Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон.

Характер видимого движения и условия наблюдения внутренних и внешних планет различны. На рис. 1.17 показаны наиболее характерные положения внутренней планеты относительно Солнца и Земли. Период обращения внутренней планеты вокруг Солнца меньше периода вращения Земли. Поэтому она в движении по своей орбите будет опережать Землю и последовательно проходить через точки 1, 2, 3 и 4. Когда планета проходит между

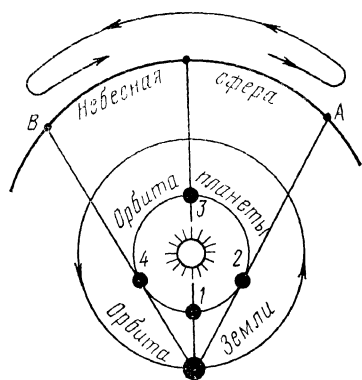


Рис. 1.17. Видимое движение внутренней планеты

Землей и Солнцем и находится в точке 1, она земному наблюдателю не видна, так как в это время к Земле обращена неосвещенная сторона планеты. Спустя некоторое время после прохождения точки 1, планета становится видимой и наблюдателю будет казаться, что она относительно Солнца отклоняется вправо. Когда планета достигнет точки 2, наблюдатель увидит ее на небесной сфере в точке А. Затем в своем видимом движении планета совершает среди звезд петлю и начинает двигаться в обратном направлении. Удаление ее от Солнца уменьшается, она постепенно скрывается в его лучах и заходит одновременно с ним. В это время планета проходит за Солнцем. Через некоторое время планета становится снова видимой, но теперь уже слева от Солнца. Достигнув предельного отклонения от Солнца влево, планета в точке В снова делает петлю, меняет направление своего движения и затем начинает приближаться к Солнцу. Таким образом, видимое движение внутренней планеты представляется как бы колебанием ее около Солнца.

При положении планеты справа от Солнца она наблюдается на небесной сфере как утренняя звезда, а при положении слева — как вечерняя звезда.

Наиболее благоприятными условиями наблюдения внутренних планет являются условия, при которых они находятся вблизи точек наибольшего углового отклонения от Солнца. У Меркурия максимальное угловое отклонение достигает  $28^\circ$ , а у Венеры —  $48^\circ$ . Поскольку Меркурий находится близко к Солнцу, то наблюдать его трудно. Даже при максимальном угловом отклонении от Солнца его можно наблюдать только в сумерках вскоре после захода Солнца или непосредственно перед восходом Солнца. Венера при наибольшем угловом отклонении восходит примерно за 3—4 ч до восхода Солнца, а при вечерней видимости через столько же времени заходит после захода Солнца.

Экипажу самолета важно знать, когда, утром или вечером, будет видна планета Венера в заданную дату полета. Наиболее просто это можно определить по ААЕ. Для этого необходимо сравнить часовые углы Солнца и Венеры, взятые из ААЕ для заданной даты для любого целого часа времени. Если часовой угол Венеры больше часового угла Солнца, Венера будет видна утром на востоке, а если меньше — вечером на западе.

Внешние планеты обращаются вокруг Солнца на более далеком расстоянии, чем Земля. Поэтому характер их видимого движения несколько иной, чем у внутренних планет. Среди звезд они перемещаются медленнее видимого годового движения Солн-

ца. Среди внешних планет наиболее быстрое видимое движение имеет Марс, который расположен ближе всего к Земле. На рис. 1.18 показан характер видимого движения внешней планеты. Так как Земля движется по своей орбите с большей скоростью, чем более удаленная от Солнца планета, то при прохождении Земли через точки 1 и 2 наблюдателю будет казаться, что планета переместилась по небесной сфере из точки А в точку В. При дальнейшем движении Земли от точки 2 планета в своем видимом движении сделает петлю у точки В и затем начинает двигаться в обратном направлении. В тот момент, когда Земля придет в точку 3, наблюдатель увидит планету на небесной сфере в точке С. При движении Земли от точки 3 планета сделает петлю около точки С и снова начнет прямое движение. Для внешних планет наилучшими условиями их наблюдения будут периоды, когда они находятся в противостоянии.

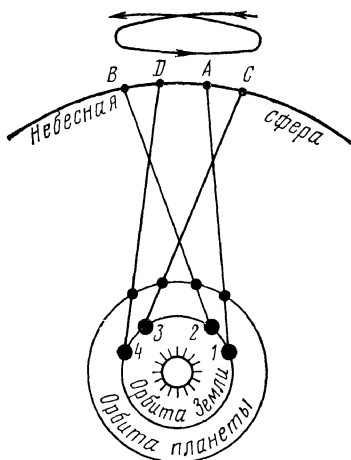


Рис. 1. 18. Видимое движение внешней планеты

Противостоянием называется положение планеты на небесной сфере относительно Земли в направлении, противоположном Солнцу. В противостоянии планета наблюдается в нулевой фазе (диск освещен полностью). Поэтому это положение планеты является самым удобным для ее наблюдения. В период противостояния планета находится в созвездии, противоположном тому, в котором в это время находится Солнце. Следовательно, в этом положении планета может быть видна на небе всю ночь. Для отыскания планет на небесной сфере пользуются специальными схемами, которые даны в приложении к ААЕ. На этих схемах показан видимый годовой путь среди звезд планет, используемых в авиационной астрономии (см. приложение 4). Видимое движение планет приводит к непрерывному изменению их экваториальных координат, значения которых даются в ААЕ на каждый час гринвичского времени.

## 7. СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД

Все звезды, включая Солнце, вращаются вокруг центра Галактики. Солнце обращается по своей галактической орбите со скоростью около 250 км/с, совершая один оборот за 180 млн. лет. Угловая скорость вращения Галактики убывает по мере удаления от ее центра, наблюдаемого на небе в направлении созвездия Стрельца. Но кроме вращения, звезды имеют собственные движения. Солнце, например, движется со скоростью 20 км/с в

направлении созвездия Геркулеса. Скорость движения отдельных звезд достигает нескольких сотен километров в секунду. Но видимые перемещения звезд на небесной сфере ввиду их колоссальной отдаленности от Земли, настолько малы, что невооруженным глазом могут быть замечены только через тысячелетия.

Перемещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением звезды. Оно выражается в секундах дуги в год. Собственные движения звезд различны по величине и направлению. Они происходят по большим кругам небесной сферы. Лишь у нескольких звезд в собственном движении замечены небольшие периодические отклонения от дуги большого круга. Для большинства звезд собственные движения не превышают  $0,1''$  в год. Только несколько сот звезд обладают собственным движением больше  $1''$  в год. Самое большое известное собственное движение, равное  $10,3''$  в год, имеет слабая, десятой величины звезда Бернарда, входящая в созвездие Змееносца. Эта звезда примерно за 200 лет смещается по небу на расстояние, равное видимому с Земли диаметру Луны. Вследствие быстрого перемещения астрономы прозвали звезду Бернарда «летающей». Из навигационных звезд наибольшим собственным движением обладает звезда Арктур. Ее положение на небесной сфере изменяется на  $2,3''$  в год.

Собственные движения звезд, которые в большинстве имеют различную скорость и направление, за очень большие промежутки времени приводят к изменению видимой конфигурации созвездий. Они также являются одной из причин непрерывного изменения экваториальных координат звезд. Поэтому экваториальные координаты звезд ежегодно уточняются и приводятся в ААЕ на начало года, а таблицы высот и азимутов звезд (ТВАЗ) периодически переиздаются.

## 8. ВИДИМОЕ СУТОЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ СВЕТИЛ

В любой точке на поверхности Земли наблюдатель всегда видит непрерывное суточное движение светил. Это движение является кажущимся и происходит вследствие действительного вращения Земли вокруг своей оси. Оно совершается с такой же угловой скоростью, как и вращение Земли, но в направлении, обратном вращению Земли, т. е. с востока на запад. При этом каждое светило движется вокруг оси мира по своей суточной параллели, плоскость которой параллельна плоскости небесного экватора. Так как взаимное расположение плоскости истинного горизонта и суточных параллелей светил меняется при перемещении наблюдателя по земной поверхности, то характер видимого суточного движения светил на различных широтах будет неодинаковым.

Уяснение видимого суточного движения светил представляет собой важный для штурмана вопрос, поскольку возможность использования светил в полете зависит от характера этого движения.

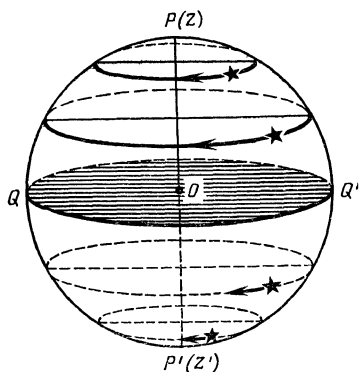


Рис. 1. 19. Суточное движение светил на Северном полюсе Земли

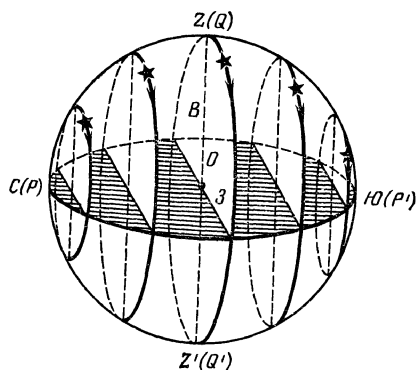


Рис. 1. 20. Суточное движение светил на экваторе Земли

**На Северном полюсе Земли** вертикаль наблюдателя совпадает с осью мира, а плоскость истинного горизонта — с плоскостью небесного экватора (рис. 1.19). Горизонтальная система небесных координат совпадает с экваториальной. Для наблюдателя, находящегося на Северном полюсе Земли, будут всегда видны только светила северной небесной полусферы. В течение суток видимые светила будут двигаться параллельно истинному горизонту. Следовательно, для этого частного случая высоты светил будут равны их склонениям.

**На экваторе Земли** плоскость небесного экватора располагается перпендикулярно к истинному горизонту и проходит через зенит (рис. 1.20). Поэтому и плоскости суточных параллелей всех светил также перпендикулярны к истинному горизонту. Для наблюдателя, расположенного на экваторе Земли, все светила будут восходить и заходить. Независимо от величины и знака склонения половину суток светила будут над горизонтом, а половину — под горизонтом.

Все светила будут двигаться перпендикулярно к плоскости истинного горизонта.

**На средних широтах** суточные параллели светил расположены наклонно к плоскости истинного горизонта (рис. 1.21). В зависимости от географической широты и от склонения светил одна часть суточных параллелей светил пересекает истинный горизонт в двух точках, другая целиком располагается над ним, а третья — под ним. Поэтому на средних широтах соответственно одни светила восходят и заходят, другие никогда не заходят за горизонт, а третьи — не восходят. При этом продолжительность пребывания светил над горизонтом зависит как от широты места наблюдения, так и от склонения светил. Очевидно, что в Северном полушарии чем больше склонение светила, тем большую часть суток оно находится над горизонтом.

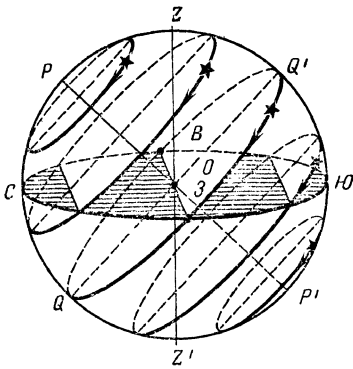


Рис. 1. 21. Суточное движение светил на средней широте

Следует заметить, что с суточным движением светил связаны такие явления, как восход, заход и кульминация светил.

В зависимости от положения суточных параллелей меняются точки восхода и захода светил на горизонте. Когда светило находится на небесном экваторе, т. е. когда его склонение равно нулю, оно восходит точно в точке востока и заходит точно в точке запада. Когда склонение светила больше нуля, его суточная параллель смещается от экватора к Северному полюсу мира, оно восходит на северо-востоке, а заходит на северо-западе.

Когда склонение светила меньше нуля, его суточная параллель смещается к Южному полюсу мира, светило восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе.

## 9. УСЛОВИЯ ВОСХОДА И ЗАХОДА СВЕТИЛ

Применение астрономических средств возможно только по небесным светилам, находящимся над горизонтом. Поэтому штурман обязан уметь определять, какие светила в данном полете будут незаходящими, невосходящими, восходящими и заходящими. Для этого есть правила, позволяющие определять, каким является данное светило на широте места наблюдателя.

На рис. 1.22 показана небесная сфера для наблюдателя, находящегося на определенной широте. Прямая *СЮ* представляет собой истинный горизонт, а прямые *СК* и *МЮ* — суточные параллели светил. Из рисунка видно, что все светила делятся на незаходящие, невосходящие, восходящие и заходящие.

Светила, суточные параллели которых лежат над горизонтом, являются для данной широты незаходящими, а светила, суточные параллели которых находятся под горизонтом, — невосходящими.

Незаходящими будут такие светила, суточные параллели которых расположены между параллелью *СК* и Северным полюсом мира. Светило, движущееся по суточной параллели *СК*, имеет склонение, равное дуге *QC* небесного меридиана. Дуга *QC* равна дополне-

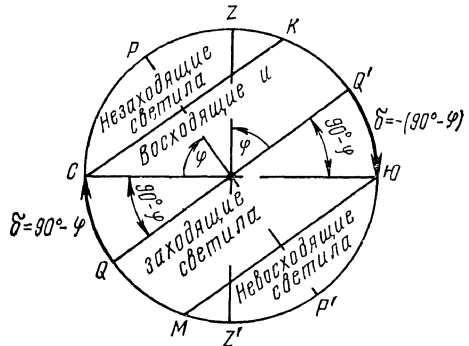


Рис. 1. 22. Условия восхода и захода светил



нию географической широты места наблюдателя до  $90^\circ$ . Следовательно, в Северном полушарии незаходящими светилами будут те светила, у которых склонение равно или больше дополнения широты места наблюдателя до  $90^\circ$ , т. е.  $\delta \geq 90^\circ - \varphi$ . Для Южного полушария эти светила будут невосходящими.

Невосходящими светилами в Северном полушарии будут те светила, суточные параллели которых лежат между параллелью МЮ и Южным полюсом мира. Очевидно, что невосходящими светилами в Северном полушарии будут те светила, у которых склонение равно или меньше отрицательной разности  $90^\circ - \varphi$ , т. е.  $\delta \leq -(90^\circ - \varphi)$ . Для Южного полушария эти светила будут незаходящими. Все остальные светила будут восходящими и заходящими. Чтобы светило восходило и заходило, его склонение должно быть по абсолютной величине меньше, чем  $90^\circ$  минус широта места наблюдателя, т. е.  $|\delta| < 90^\circ - \varphi$ .

**Пример 1.** Звезда Алиот: склонение звезды  $\delta = +56^\circ 06'$ ; широта места наблюдателя  $\varphi_c = 48^\circ 31'$ . Определить, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на указанной широте.

Решение 1. Находим разность  $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 48^\circ 31' = +41^\circ 29'$ .

2. Сравниваем склонение звезды с полученной разностью. Так как склонение звезды  $\delta = +56^\circ 06'$  больше чем  $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 48^\circ 31' = +41^\circ 29'$ , то звезда Алиот на указанной широте незаходящая.

**Пример 2.** Звезда Сириус; склонение звезды  $\delta = -16^\circ 41'$ ; широта места наблюдателя  $\varphi_c = 80^\circ 10'$ . Определить, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на указанной широте.

Решение 1. Находим отрицательную разность  $(90^\circ - \varphi)$ , так как звезда Сириус имеет отрицательное склонение:  $-(90^\circ - \varphi) = -90^\circ + 80^\circ 10' = -9^\circ 50'$ .

2. Сравниваем склонение звезды с полученной разностью. Так как  $\delta < -(90^\circ - \varphi)$ , то звезда Сириус на указанной широте невосходящая.

**Пример 3.** Звезда Арктур: склонение звезды  $\delta = +19^\circ 19'$ ; широта места наблюдателя  $\varphi_c = 50^\circ 25'$ . Определить, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на указанной широте.

Решение 1. Находим разность  $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 50^\circ 25' = +39^\circ 35'$ .

2. Сравниваем склонение звезды с полученной разностью. Так как  $\delta < 90^\circ - \varphi$ , то звезда Арктур на указанной широте восходит и заходит.

**Пример 4.** Звезда Регул; склонение звезды  $+\delta = 12^\circ 05'$ . Определить, в пределах каких широт звезда Регул не заходит, восходит и заходит и не восходит.

Решение 1. Находим широту места наблюдателя, с которой звезда Регул является незаходящей. Условие незаходимости светил является неравенство  $\delta \geq 90^\circ - \varphi$ , откуда  $\varphi = 90^\circ - \delta = 90^\circ - 12^\circ 05' = +77^\circ 55'$ .

2. Указываем области незаходимости, восхода и захода и невосходимости звезды Регул:

от  $\varphi_c = 77^\circ 55'$  до  $\varphi_c = 90^\circ$  звезда не заходит;

от  $\varphi_c = 77^\circ 55'$  до  $\varphi_c = 77^\circ 55'$  звезда восходит и заходит;

от  $\varphi_{ю} = 77^\circ 55'$  до  $\varphi_c = 90^\circ$  звезда не восходит.

## 10. КУЛЬМИНАЦИЯ СВЕТИЛ

Все светила за сутки в своем видимом движении дважды пересекают небесный меридиан. Пересечение центром светила небесного меридиана называется *кульминацией светила*. Кульминация — слово латинское и в переводе означает вершина. Различают верхнюю и нижнюю кульминацию светила.

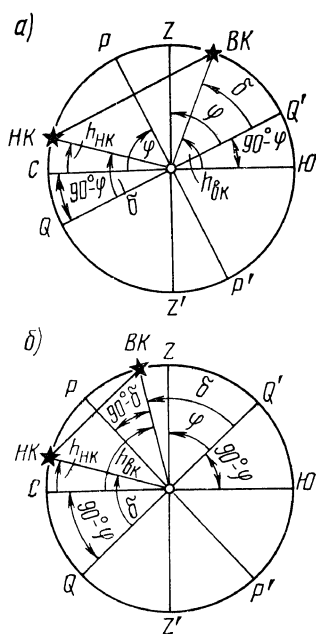


Рис. 1.23. Кульминация светила:

а — к югу от зенита;  
б — к северу от зенита

при верхней кульминации к северу от зенита равен 0, а к югу от зенита — 180°.

При кульминации светила к югу от зенита высоты в момент верхней и нижней кульминаций рассчитывают по формулам:

$$h_{BK} = 90^\circ - \varphi + \delta, \text{ или иначе } h_{BK} = 90^\circ + (\delta - \varphi).$$

$$h_{HK} = \delta - (90^\circ - \varphi), \text{ или иначе } h_{HK} = \delta + \varphi - 90^\circ.$$

При кульминации светила к северу от зенита высоты в момент верхней и нижней кульминаций рассчитываются по формулам:

$$h_{BK} = 90^\circ - \delta + \varphi, \text{ или иначе } h_{BK} = 90^\circ - (\delta - \varphi).$$

$$h_{HK} = \delta - (90^\circ - \varphi), \text{ или иначе } h_{HK} = \delta + \varphi - 90^\circ.$$

Обобщая формулы высоты светила для момента верхней кульминации, получаем, что  $h_{BK} = 90^\circ \pm (\delta - \varphi)$ . Знак плюс перед скобкой берется тогда, когда светило кульминирует к югу от зенита ( $\delta < \varphi$ ) а знак минус, — когда к северу от зенита ( $\delta > \varphi$ ).

Высота в момент нижней кульминации для всех светил определяется по единой формуле.

$$h_{HK} = \delta + \varphi - 90^\circ.$$

В верхней кульминации высота светила наибольшая, а в нижней — наименьшая. Для незаходящих светил обе кульминации происходят над горизонтом. Для восходящих и заходящих светил верхняя кульминация происходит над горизонтом, а нижняя под горизонтом. У невосходящих светил обе кульминации происходят под горизонтом и они недоступны наблюдениям.

Верхняя кульминация светила может происходить между зенитом и точкой юга (на южной части меридиана) или между зенитом и полюсом мира (на северной части меридиана). На рис. 1.23 изображена небесная сфера. Основные круги показаны диаметрами и хордами. Из рисунка видно, что к югу от зенита кульминируют те светила, склонение которых меньше широты места, а к северу от зенита — те светила, склонение которых больше широты места.

В момент верхней кульминации часовой угол светила равен 0, а в момент нижней кульминации 180°. Азимут светила

Формула высоты светила в момент его верхней кульминации имеет важное практическое значение. Рассчитав высоту светила в момент верхней кульминации и сравнив ее с измеренной высотой в этот же момент, можно определить поправку секстанта. По высоте светила, измеренной в момент кульминации, при знании склонения светила можно определить широту своего местонахождения. Формулы для расчета высот светил в момент верхней и нижней кульминаций позволяют установить зависимость между широтой места наблюдателя, склонением Солнца и его высотой.

Из рассмотренных формул видно, что при предельных значениях склонения Солнца, равных  $\pm 23^{\circ}26'$ , его высота в момент верхней кульминации на географических широтах  $\pm 23^{\circ}26'$  равна  $90^{\circ}$ , т. е. Солнце будет кульминировать в зените. На географической параллели, северная широта которой равна  $23^{\circ}26'$ , Солнце кульминирует в зените в день летнего солнцестояния, а на географической параллели, южная широта которой  $23^{\circ}26'$ , в день зимнего солнцестояния. Географическая параллель, северная широта которой равна  $23^{\circ}26'$ , называется северным тропиком, или тропиком Рака, а географическая параллель, южная широта которой равна  $23^{\circ}26'$  — южным тропиком, или тропиком Козерога. В указанных созвездиях много веков тому назад находились точки солнцестояний.

Из формул также видно, что при склонении Солнца  $\pm 23^{\circ}26'$  его высота в моменты кульминаций на широтах  $\pm 66^{\circ}34'$  равна нулю. На географической параллели, северная широта которой равна  $66^{\circ}34'$ , высота Солнца равна нулю в момент нижней кульминации в день летнего солнцестояния и в момент верхней кульминации в день зимнего солнцестояния, т. е. в эти дни на этой параллели Солнце соответственно не заходит и не восходит. Эта географическая параллель называется Северным полярным кругом.

На географической параллели, южная широта которой  $66^{\circ}34'$ , в день зимнего солнцестояния Солнце является незаходящим светилом, а в момент летнего солнцестояния — невосходящим светилом. Эту параллель называют Южным полярным кругом.

**Пример 1.** Звезда Денеб; склонение звезды  $\delta = +45^{\circ}11'$ ; широта места наблюдателя  $\varphi_c = 32^{\circ}15'$ . Определить высоту звезды в моменты верхней и нижней кульминаций.

Решение 1. Определяем положение звезды относительно зенита в момент верхней кульминации. Так как  $\delta > \varphi$ , то звезда кульминирует к северу от зенита.

2. Определяем высоту звезды в момент верхней кульминации:  $h_{вк} = 90^{\circ} - (\delta - \varphi) = 90^{\circ} - 45^{\circ}11' + 32^{\circ}15' = +77^{\circ}04'$ .

3. Определяем высоту звезды в момент нижней кульминации:  $h_{нк} = \delta + \varphi - 90^{\circ} = 45^{\circ}11' + 32^{\circ}15' - 90^{\circ} = -12^{\circ}34'$ . Звезда Денеб на данной широте восходит и заходит, так как ее высота в моменты верхней и нижней кульминаций имеет разные знаки.

**Пример 2.** Дата 22 июня; склонение Солнца  $\delta = +23^{\circ}26'$ ; широта Ленинграда  $\varphi_c = 59^{\circ}59'$ . Определить высоту Солнца в моменты верхней и нижней кульминаций.

Решение 1. Определяем положение Солнца относительно зенита в момент верхней кульминации. Так как  $\delta < \varphi$ , то Солнце кульминирует к югу от зенита.

2. Определяем высоту Солнца в момент верхней кульминации:

$$h_{\text{нк}} = 90^\circ + (\delta - \varphi) = 90^\circ + 23^\circ 26' - 59^\circ 59' = +53^\circ 27'.$$

3. Определяем высоту Солнца в момент нижней кульминации:

$$h_{\text{нк}} = \delta + \varphi - 90^\circ = 23^\circ 26' + 59^\circ 59' - 90^\circ = -6^\circ 35'.$$

Из примера видно, что на широте Ленинграда в день летнего солнцестояния Солнце опускается под горизонт не ниже  $6^\circ 35'$ . Так как темнота наступает при высоте Солнца минус  $6^\circ$ , то в летнее время в Ленинграде почти всю ночь делятся сумерки, т. е. наблюдаются белые ночи.

**Пример 3.** Звезда Вега; склонение звезды  $\delta = +38^\circ 46'$ ; широта места наблюдателя  $\varphi_s = 62^\circ 10'$ . Определить высоту звезды в моменты верхней и нижней кульминаций.

Решение. 1. Определяем положение звезды относительно зенита в момент верхней кульминации. Так как склонение звезды меньше широты места наблюдателя, то звезда кульминирует к югу от зенита.

2. Определяем высоту звезды в момент верхней кульминации:

$$h_{\text{вк}} = 90^\circ + (\delta - \varphi) = 90^\circ + 38^\circ 46' - 62^\circ 10' = +66^\circ 36'.$$

3. Определяем высоту звезды в момент нижней кульминации:

$$h_{\text{нк}} = \delta + \varphi - 90^\circ = 38^\circ 46' + 62^\circ 10' - 90^\circ = +10^\circ 56'.$$

Звезда Вега на данной широте является незаходящей, так как ее высота в моменты верхней и нижней кульминаций положительная.

### ЗВЕЗДНОЕ НЕБО И ХАРАКТЕРИСТИКА НАВИГАЦИОННЫХ СВЕТИЛ

#### 1. НАВИГАЦИОННЫЕ СВЕТИЛА

Огромное количество звезд, наблюдаемых на небе, представляет собой одну из звездных систем Вселенной, которую называют Галактикой. Основная часть ее звезд сконцентрирована в полосе Млечного Пути, которая тянется через все небо. Самая богатая звездами область неба сливается для глаза в сплошное сияние и наблюдается в виде светлой белесой полосы. В Галактику входит свыше 100 миллиардов звезд. Ее форма напоминает двояковыпуклую линзу. Диаметр Галактики равен 100 тыс. световых лет, а толщина в области ее ядра — примерно 10 тыс. световых лет.

Световой год — это астрономическая мера длины, равная расстоянию, которое луч света со скоростью 300 000 км/с проходит за один год. Он равен 9,5 триллионов км.

Центр Галактики скрыт от земных наблюдателей завесой облаков космической пыли. Кроме нашей Галактики имеется множество других звездных систем. Они наблюдаются на небе в виде туманностей. Расстояния между галактиками в десятки раз превосходят размеры самих звездных систем. Ближайшая к нам галактика наблюдается в созвездии Андромеды. В ясную ночь она видна невооруженным глазом и является самым далеким объектом, видимым без помощи приборов. Свет от этой звездной системы идет к нам около 2 млн. лет.

В состав нашей Галактики входит Солнечная система, которая расположена почти в ее плоскости и удалена от центра на расстояние около 30 тыс. световых лет. Динамическим центром Солнечной системы является Солнце, вокруг которого обращаются девять больших планет.

Ближайшая к Солнцу планета Меркурий удалена от него на 58 млн. км, а самая далекая Плутон — находится на расстоянии около 6 млрд. км.

Несмотря на грандиозные размеры Солнечной системы, область пространства, занятого планетами, в сравнении с расстоянием до звезд кажется ничтожно малой. Радиус Солнечной сис-

темы примерно в 7 тыс. раз меньше расстояния до ближайшей звезды Проксимы Центавра.

Как одиночные звезды Галактики, так и ее звездные скопления находятся на чрезвычайно больших расстояниях от Солнечной системы и друг от друга. Поэтому в авиационной астрономии размерами Солнечной системы при пользовании звездами обычно пренебрегают.

Небесные светила, используемые для самолетовождения, называются навигационными. В настоящее время в качестве навигационных светил используют наиболее яркие и легко опознаваемые светила — Солнце, Луну, планеты Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн и 26 звезд.

Рассмотрим характеристику этих светил в навигационном отношении.

Солнце — самая близкая к Земле звезда. Солнце является центральным телом нашей планетной системы. Среднее расстояние от Земли до Солнца равно 149,6 млн. км. Луч света от Солнца до Земли доходит за 8 мин 30 с. Солнце по размерам является средней звездой и представляет собой раскаленный газовый шар, диаметр которого равен 1 392 000 км. Температура поверхности Солнца 6000°C. Оно относится к группе желтых звезд. Солнце представляется кругом с резко очерченным краем. Видимый угловой диаметр Солнца на среднем расстоянии от Земли равен 32'. Он в течение года несколько меняется вследствие изменения расстояния между Землей и Солнцем, вызванного эллиптичностью земной орбиты.

Луна светит отраженным солнечным светом. Иногда ее можно наблюдать днем одновременно с Солнцем. Видимый угловой диаметр Луны почти такой же, как и у Солнца. На среднем расстоянии от Земли он равен 31'05".

Планыты — спутники Солнца, которые подобно Луне светятся отраженным солнечным светом. Выглядят они как звезды, но отличаются от них тем, что непрерывно перемещаются по небу. Поэтому иногда их называют блуждающими звездами.

Венера, Марс, Юпитер и Сатурн — самые яркие и легко наблюдаемые светила.

Основные элементы орбит планет Солнечной системы приведены в приложении 23.

Венера — самое яркое после Солнца и Луны светило. Период обращения ее вокруг Солнца равен 225 сут, т. е. она обращается вокруг Солнца быстрее, чем Земля. Поэтому ее видимое движение среди звезд очень быстрое.

Марс — первая внешняя планета. Свой путь по орбите вокруг Солнца Марс проходит за 687 сут. Поэтому Земля через каждые 2 года и 50 дней обгоняет его. В это время Марс находится в противостоянии и наиболее удобен для наблюдений. Орбита Марса заметно вытянута, и поэтому его расстояние от Земли колеблется почти на 350 млн. км, т. е. более чем в 7 раз, что сильно сказывается на его видимости.

Юпитер — самая большая планета Солнечной системы. Диаметр Юпитера превосходит диаметр Земли более чем в 10 раз. Поэтому, несмотря на его большую удаленность, он бывает виден на небе ярче звезд. Период обращения Юпитера вокруг Солнца равен почти 12 годам. Поэтому его положение среди звезд в течение года изменяется медленно.

Сатурн — уникальная планета Солнечной системы благодаря своему кольцу, по размерам несколько меньше Юпитера, но расположена примерно вдвое дальше. Наблюдается как яркая звезда. Обращается вокруг Солнца за 29,5 года. Имеет совсем медленное видимое движение среди звезд.

Звезды — это огромные раскаленные газовые шары, подобные Солнцу. Они весьма разнообразны по размерам, температуре и плотности. Есть звезды карлики, звезды гиганты и сверхгиганты. Самые маленькие звезды имеют диаметр меньше Луны, а диаметр звезд-гигантов в десятки и сотни раз больше диаметра Солнца. Например, диаметр звезды Арктур в 22 раза больше солнечного, а звезд Бетельгейзе и Антарес почти в 500 раз. Размеры отдельных звезд-сверхгигантов превосходят размеры Солнца в тысячи раз. Звезды, имеющие сравнительно большой блеск, отличаются цветом, который зависит от температуры их поверхности. Температура большинства звезд находится в пределах от 3000 до 30 000°. При температуре поверхности 3000° звезды имеют красный цвет, 6000° — желтый, 10 000° — белый, 30 000° — голубой. Отличаются звезды также своей светимостью. Некоторые звезды излучают света гораздо больше, чем Солнце. Например, звезда Вега из созвездия Лиры светит в 50 раз ярче Солнца, Полярная в 450 раз, а Ригель из созвездия Ориона в 16 тыс. раз.

Звезды размещены на небе неравномерно. Одни участки неба богаты звездами, а другие предельно бедны. Все звезды кажутся одинакового размера. Вследствие огромных расстояний до звезд они видны на небе как светлые точки различной яркости. Луч света от ближайшей звезды альфа Центавра идет к Земле более 4 лет. Эта звезда находится в 270 тыс. раз дальше от Земли, чем Солнце. Свет от видимых невооруженным глазом далеких звезд идет к Земле десятки лет, а от некоторых сотни и даже тысячи лет. Наряду с одиночными звездами часто на небе встречаются двойные звезды, которые обращаются под действием сил взаимного притяжения вокруг общего центра масс. Двойственность некоторых звезд можно видеть невооруженным глазом. Самой известной видимой невооруженным глазом системой из двух звезд является Мицар и Алькор. Мицар — это вторая звезда ручки ковша Большой Медведицы. Рядом с этой яркой звездой расположена едва заметная звездочка Алькор, которая по яркости стоит на самом пределе видимости невооруженным глазом. По этой паре звезд можно проверять зрение. Если ясно различаются обе звезды, значит острота зрения у человека нормальная. Угловое расстояние между Мицаром и Алькором близко к 12 минутам дуги, что немногим больше трети видимого лунного

диска. Но кажущаяся близость этих звезд друг к другу вызвана лишь их невообразимой удаленностью от Земли. На самом деле расстояние между Мицаром и Алькором в 17 тыс. раз больше расстояния от Земли до Солнца, а период обращения Алькора вокруг Мицара примерно равен 2 млн. лет. Поэтому трудно даже за сотни лет обнаружить заметное смещение Алькора по своей орбите. Некоторые двойные звезды имеют небольшой период обращения, который равен всего нескольким суткам. Кроме двойных, имеются звезды, образующие тройные, четверные и другие кратные системы.

Большинство звезд обладает постоянным блеском. Но существуют и такие звезды, которые периодически изменяют свой блеск. Эти звезды называются переменными. Свой блеск они изменяют либо вследствие обращения друг относительно друга, либо в результате физических процессов, происходящих в самих звездах.

В зависимости от причин изменения блеска переменные звезды делятся на затменно-переменные и физически переменные или пульсирующие. Одной из самых характерных затменно-переменных звезд является звезда Алголь из созвездия Персея. Эта звезда представляет собой тесную двойную систему. Среди подобных ей звезд она наиболее заметно изменяет свой видимый блеск. Через каждые двое с половиной суток видимый блеск звезды Алголь изменяется почти в три раза.

Для физически переменных звезд характерным является то, что их видимый блеск изменяется непрерывно. Периоды изменения их блеска колеблются от нескольких часов до нескольких десятков суток.

Рассмотренные сведения о навигационных светилах помогают лучше использовать их для астрономической ориентировки.

## 2. ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА СВЕТИЛА

При наблюдении звездного неба прежде всего бросается в глаза множество видимых звезд. Они так далеки от Земли, что представляются наблюдателю в виде светящихся точек, различной яркости.

В авиационной астрономии принято характеризовать звезды по их видимой яркости, т. е. в зависимости от того, как ярко они выглядят на небе. Видимую яркость звезд условились выражать видимой звездной величиной, которая обозначается латинской буквой *m*. Очевидно, что звездная величина не имеет никакого отношения к истинным размерам звезд. Она является только мерой измерения видимой яркости звезд. Звездная величина зависит от мощности светового излучения звезды и расстояния ее от наблюдателя. Маленькая и сравнительно холодная звезда из-за своей относительно меньшей удаленности от наблюдателя может быть ярче, чем далекая огромная и горячая звезда.



Все видимые звезды разделены на шесть звездных величин. К звездам первой звездной величины отнесены звезды, которые в 100 раз ярче самых слабых по яркости звезд, видимых невооруженным глазом. Звезды, видимая яркость которых в 2,5 раза меньше, чем у звезд первой звездной величины, отнесены к звездам второй звездной величины, а те звезды, которые по яркости в 2,5 раза слабее звезд второй звездной величины, отнесены к звездам третьей звездной величины и т. д., т. е. звезды каждой последующей звездной величины слабее предыдущей по яркости в 2,5 раза.

Самые слабые по яркости звезды, которые можно еще наблюдать невооруженным глазом, отнесены к звездам шестой звездной величины. Эти звезды находятся на пределе видимости невооруженного глаза.

Для звезд более ярких, чем звезды первой звездной величины, введено обозначение нулевой звездной величины, минус первой, минус второй и т. д. Для более точной характеристики видимой яркости звезд звездные величины выражаются не только целыми, но и дробными числами.

Так, например, звездная величина Полярной звезды равна 2,12; Спики 1,21; Веги 0,14.

Самыми яркими звездами неба являются звезды Сириус и Канопус.

Видимая звездная величина Сириуса равна минус 1,58, а Канопуса минус 0,86.

На всем звездном небе человек с нормальным зрением видит более 5 500 звезд. Но лишь 26 из них, примерно до второй видимой звездной величины включительно, используются для самолетовождения.

Звездные величины применяются также для оценки видимой яркости тел Солнечной системы. Звездная величина Солнца равна минус 26,8, полной Луны минус 12,6, Венеры минус 4,3, Марса минус 2,8, Юпитера минус 2,5.

Для планет звездные величины указаны для периода, когда они расположены наиболее близко к Земле и имеют наибольшую яркость.

Звездные величины зависят не только от источника излучения, но и от способа регистрации излучения. Глаз человека наиболее восприимчив к желто-зеленым лучам, а фотоэлектрические следящие системы автоматических астронавигационных устройств более чувствительны к синим и фиолетовым лучам спектра. Поэтому видимая яркость одной и той же звезды при ее восприятии глазом человека и с помощью фотоэлементов имеет различные звездные величины.

Для фотоэлектрических следящих систем видимую яркость светил принято оценивать фотоэлектрической звездной величиной  $B$ . Для 65 наиболее ярких звезд видимая и фотоэлектрическая звездные величины даны в Авиационном астрономическом ежегоднике.

### 3. ПРАВИЛА ОТЫСКАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЗВЕЗД И ПЛАНЕТ

Для применения астрономических приборов необходимо уметь безошибочно находить на небесной сфере нужные звезды и планеты.

Наблюдая звездное небо, нельзя не заметить большого разнообразия звезд. Многие звезды выделяются своей яркостью или цветом. Среди большого множества звезд выделяются отдельные группы звезд, имеющие характерные очертания и называемые созвездиями.

Созвездия, участвуя в суточном вращении небесной сферы, сохраняют свое взаимное расположение друг относительно друга и очертания характерных фигур. Наличие таких особенностей позволяет легко ориентироваться среди тысяч звезд, несмотря на кажущуюся хаотичность в их расположении. Наиболее характерными признаками, по которым отыскиваются навигационные звезды, являются конфигурации созвездий, взаимное расположение и видимая яркость звезд.

Для того чтобы найти на небе нужную звезду, сначала находят созвездие, которому она принадлежит, а затем, зная расположение нужной звезды в данном созвездии и ее видимую яркость, отыскивают звезду. Наиболее яркие звезды в созвездиях служат надежными ориентирами для нахождения более слабых звезд.

По решению Международного астрономического союза все небо разделено на 88 участков-созвездий, из которых более 60 могут быть видимы с территории СССР. Каждое из созвездий имеет название. Большинство созвездий получили названия в глубокой древности и связаны с легендами и мифами.

Яркие звезды каждого созвездия обозначаются буквами греческого алфавита, как правило, в порядке уменьшения их видимой яркости. Самая яркая звезда в созвездии обозначается буквой  $\alpha$ , следующая за ней по яркости — буквой  $\beta$  и т. д. В некоторых созвездиях такой порядок обозначения звезд нарушается. Наиболее яркие звезды созвездий, кроме буквенных обозначений, имеют собственные названия. Так, например, звезда  $\alpha$  созвездия Лиры называется Вега, звезда  $\beta$  созвездия Ориона называется Ригель.

В Северном и Южном полушариях используются определенные навигационные звезды, для которых составлены таблицы высот и азимутов.

Навигационные звезды, используемые в Северном полушарии, приведены в табл. 2.1.

Отыскание нужных для наблюдений звезд проще всего производить от опорных созвездий, имеющих знакомые всем очертания. Наиболее выразительные созвездия служат отправными пунктами, позволяющими переходить от них к соседним созвездиям и звездам.

## Навигационные звезды, используемые в Северном полушарии

Звезда и созвездие	Видимая звездная величина	Цвет звезды
Сириус ( $\alpha$ Большого Пса)	-1,58	Белый
Вега ( $\alpha$ Лиры)	0,14	»
Капелла ( $\alpha$ Возничего)	0,21	Желтый
Арктур ( $\alpha$ Волопаса)	0,24	Оранжевый
Ригель ( $\beta$ Ориона)	0,34	Белый
Процион ( $\alpha$ Малого Пса)	0,48	»
Альтаир ( $\alpha$ Орла)	0,89	»
Бетельгейзе ( $\alpha$ Ориона)	0,1—1,2	Красный
Альдебаран ( $\alpha$ Тельца)	1,06	Красноватый
Поллукс ( $\beta$ Близнецов)	1,21	Желтый
Спика ( $\alpha$ Девы)	1,21	Белый
Антарес ( $\alpha$ Скорпиона)	1,22	Красный
Фомальгаут ( $\alpha$ Южной Рыбы)	1,29	Белый
Денеб ( $\alpha$ Лебедя)	1,33	
Регул ( $\alpha$ Льва)	1,34	
Алиот ( $\epsilon$ Большой Медведицы)	1,68	
Полярная ( $\alpha$ Малой Медведицы)	2,12	
Альферац ( $\alpha$ Андромеды)	2,15	»

Отыскание навигационных звезд, видимых в Северном полушарии, производится по следующим правилам. Звездное небо условно делится на три участка (рис. 2.1).

На первом участке неба расположены созвездия Большой Медведицы, Малой Медведицы, Волопаса, Девы, Скорпиона и Льва.

Общеизвестным созвездием на этом участке является созвездие Большой Медведицы. От него начинают отыскание других созвездий. Семь наиболее ярких звезд этого созвездия образуют характерную фигуру ковша с ручкой, самую запоминающуюся фигуру на звездном небе. Третья звезда от конца ручки является навигационной звездой Алиот. Следует иметь в виду, что ручка ковша вследствие вращения звездного неба в разное время имеет различное направление к линии горизонта.

Для отыскания Полярной звезды нужно мысленно провести прямую через две крайние звезды ковша созвездия Большой Медведицы в направлении внешней части ковша, а затем на этой линии отложить пять расстояний между указанными звездами. В конце отложенного расстояния обнаружится Полярная, наиболее яркая звезда, входящая в созвездие Малой Медведицы. Семь звезд этого созвездия образуют малый ковш с ручкой, на конце которой располагается Полярная звезда. Эта звезда очень важная из-за своего особого положения на небе. Она почти точно совпадает с полюсом мира, и поэтому по ней всегда можно указать направление на север и определить широту места наблюдателя. Большинство звезд малого ковша слабые. Среди них

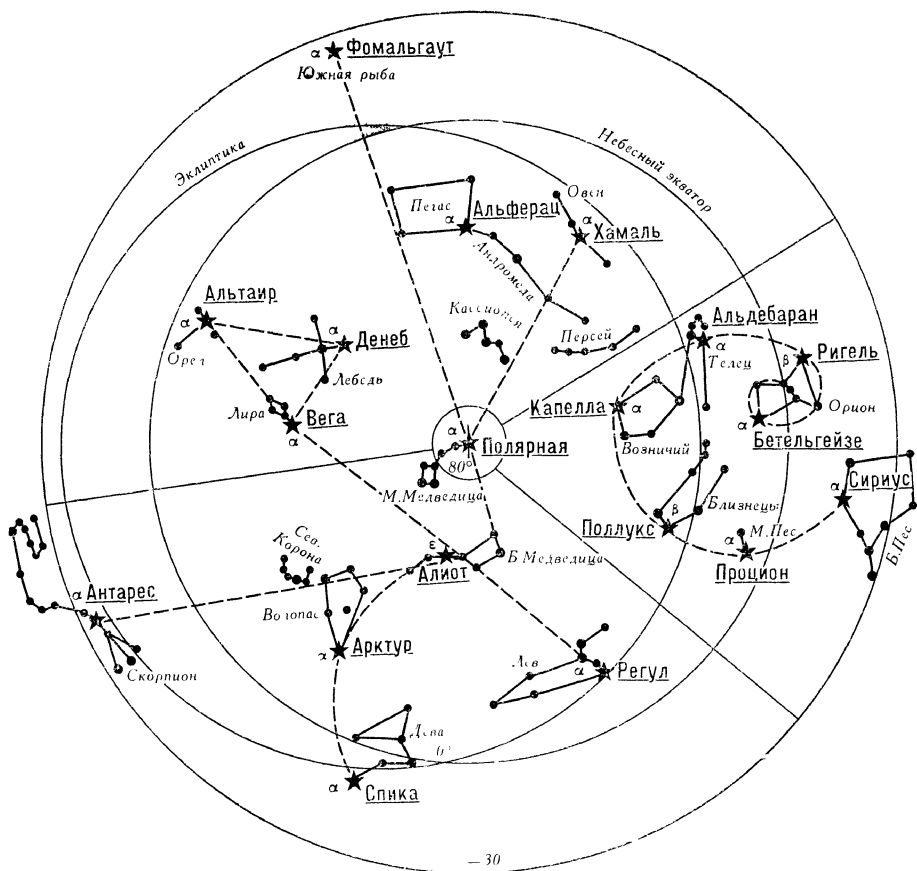


Рис. 2. 1. Правила отыскания навигационных звезд в Северном полушарии

выделяются только две крайние звезды ковша. Их называют «стражами» полюса, так как они ходят вокруг полюса, как часовые.

Для отыскания навигационных звезд Арктур и Спика необходимо продолжить взглядом дугообразную линию ручки ковша Большой Медведицы. Сначала эта линия пройдет через созвездие Волопаса, имеющее форму парашютного значка, в которое входит звезда Арктур, самая яркая не только в этом созвездии, но и на всем первом участке неба. Арктур очень заметная звезда с оранжевым оттенком. Дальше на продолжении дугообразной линии находится единственная яркая звезда Спика, входящая в большое созвездие Девы, которое состоит преимущественно из слабых звезд.

Чтобы найти звезду Антарес созвездия Скорпиона, нужно провести прямую линию через звезды ручки ковша Большой Медведицы. Эта линия пройдет мимо хорошо видимого серпообразно-

го созвездия Северной Короны. На расстоянии примерно в два раза больше, чем расстояние от ковша Большой Медведицы до Северной Короны, расположена звезда Антарес.

Для отыскания звезды Регул нужно провести прямую линию через две звезды ковша Большой Медведицы, ближайšie к ручке, в направлении, противоположном Полярной звезде. Отложив на этой линии расстояние, примерно в 1,5 раза больше, чем расстояние от Большой Медведицы до Полярной звезды, отыскивают звезду Регул созвездия Льва, имеющего фигуру трапеции.

На втором участке неба находятся созвездия Ориона, Тельца, Возничего, Близнецов, Малого Пса и Большого Пса. На этом участке опорным созвездием является созвездие Ориона, которое почти также общеизвестно, как и созвездие Большой Медведицы. Это созвездие очень богато яркими звездами. Столько ярких звезд нет ни в одном другом созвездии: пять звезд второй звездной величины и две первой. Четыре его яркие звезды образуют трапецию, внутри которой расположены рядом три тоже яркие звезды, носящие название пояса Ориона. Две самые яркие звезды этого созвездия, находящиеся в противоположных углах трапеции, являются навигационными.

Звезда, которая находится ближе к Полярной, называется Бетельгейзе, а противоположная ей — Ригель. Бетельгейзе красная звезда, а Ригель белая.

На продолжении спиральной линии, начатой в поясе Ориона, в направлении против хода часовой стрелки последовательно расположены звезды Альдебаран ( $\alpha$  Тельца), Капелла ( $\alpha$  Возничего), Поллукс ( $\beta$  Близнецов), Прокцион ( $\alpha$  Малого Пса) и Сириус ( $\alpha$  Большого Пса) — самая яркая звезда всего неба.

На третьем участке неба расположены созвездия Лиры, Кассиопеи, Лебеда, Орла, Пегаса, Андромеды, Овна и Южной Рыбы. На этом участке выделяется созвездие Кассиопеи и блестящая звезда Вега созвездия Лиры. Звезда Вега является самой яркой звездой третьего участка неба.

Созвездие Кассиопеи, имеющее очертание латинской буквы W, хотя и не содержит навигационной звезды, но зато является характерным ориентиром.

Вега находится на продолжении прямой линии, проведенной через две звезды у основания ручки ковша Большой Медведицы в сторону, противоположную Регулу. Рядом с Вегой четыре слабые звезды маленького созвездия Лиры образуют характерную фигуру параллелограмма.

Вблизи созвездия Лиры расположены созвездия Лебеда и Орла. Наиболее яркие звезды созвездия Лебеда образуют фигуру креста, известную под названием Северный Крест, в вершине которого выделяется яркая звезда Денеб.

Созвездие Орла напоминает фигуру самолета. Его самая яркая звезда является навигационной звездой Альтаиром. Альтаир, Вега и Денеб образуют большой летний треугольник, известный всем штурманам.

Если провести прямую линию через две крайние звезды ковша Большой Медведицы и Полярную, то она пройдет через созвездие Пегаса. Группа звезд созвездий Пегаса и Андромеды образуют ковш, который значительно больше ковша Большой Медведицы. У основания ручки этого ковша расположена звезда Альферац ( $\alpha$  Андромеды). В ясную и безлунную ночь недалеко от звезды Альферац в сторону созвездия Кассиопеи можно увидеть туманность Андромеды — ближайшую к нам галактику.

Чтобы найти звезду Фомальгаут созвездия Южной Рыбы, нужно продолжить прямую линию, идущую от Полярной через созвездие Пегаса.

Для отыскания звезды Хамаль, входящей в созвездие Овна, нужно провести прямую линию от Полярной звезды мимо легко опознаваемого созвездия Кассиопеи в сторону созвездия Андромеды, вблизи которого и расположена звезда Хамаль.

При полетах в Южном полушарии используется 24 навигационные звезды, из которых 16 те же, что применяются в Северном полушарии и 8 дополнительных: Хамаль ( $\alpha$  Овна), Канопус ( $\alpha$  Арго), Ахернар ( $\alpha$  Эридана), Пикок ( $\alpha$  Павлина),  $\beta$  Южного Креста,  $\alpha$  Центавра,  $\alpha$  Южного Треугольника и  $\epsilon$  Стрельца.

В Южном полушарии из общего количества навигационных звезд не используются только две — Полярная и Бетельгейзе.

Навигационные звезды, расположенные в Южном полушарии, начинают обычно отыскивать от легко опознаваемой группы созвездий Киль, Корма, Компас и Паруса, которые раньше входили в одно большое созвездие Корабль Аргонавтов (рис. 2.2).

В созвездии Киля выделяется желтая звезда Канопус, которая по яркости уступает лишь только Сириусу. Яркие звезды Сириус, Канопус и Ригель образуют треугольник, который выделяется при первом взгляде на небо.

Известным созвездием Южного полушария является также знаменитое созвездие Южного Креста. Его более длинная переключина почти точно указывает на Южный полюс мира, который в отличие от Северного полюса мира не отмечен никакой звездой. Созвездие Южного Креста небольшое, но состоит из ярких звезд. Наиболее яркая звезда  $\beta$  является навигационной.

В этой же части неба расположена большая и выразительная группа звезд, входящих в созвездие Центавра. В этом созвездии выделяются две звезды, расположенные на небольшом удалении друг от друга. Навигационной является  $\alpha$  Центавра, которая более яркая. Недалеко от этой звезды расположено приметное созвездие Южный Треугольник с навигационной звездой  $\alpha$ .

К числу созвездий, имеющих хорошо заметные конфигурации и содержащих яркие звезды, относятся Павлин и Стрелец. В созвездии Павлина находится навигационная звезда Пикок, а в созвездии Стрельца — звезда  $\epsilon$ . Эти звезды с навигационной звездой  $\alpha$  Южного Треугольника образуют легко различимый треугольник. Эти три звезды имеют примерно одинаковую яркость и выделяются в этой части неба среди более слабых звезд.

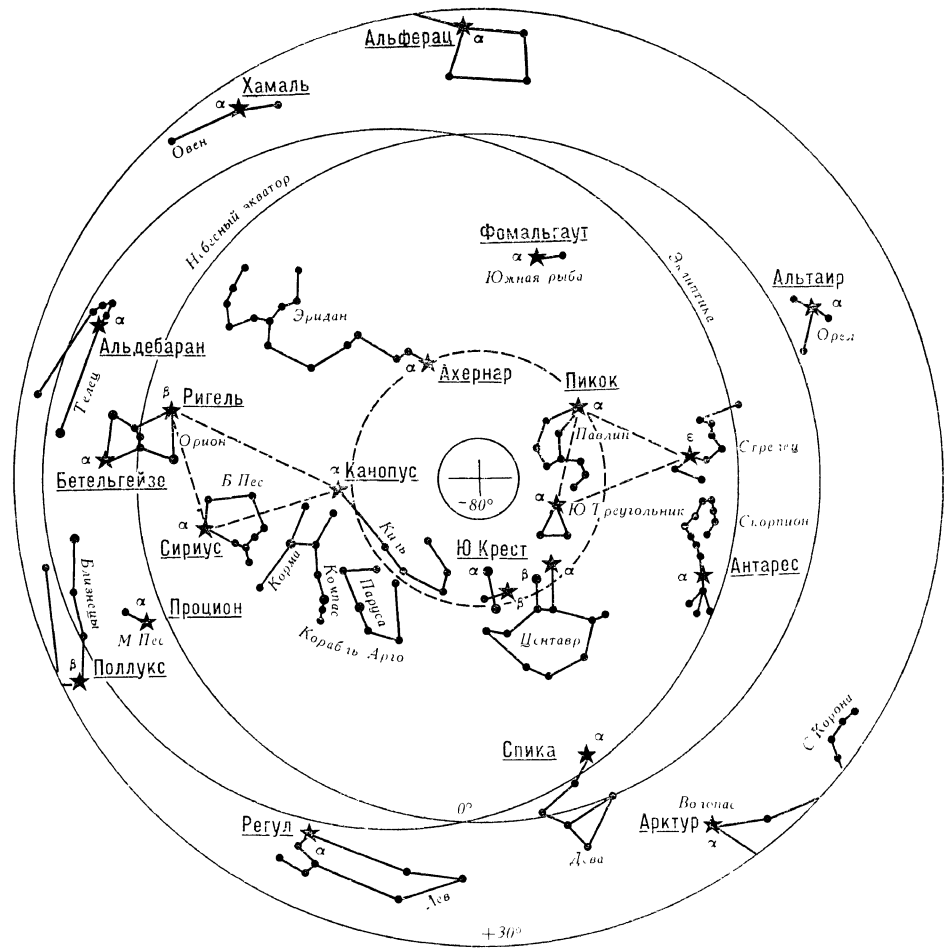


Рис. 2. 2. Правила отыскания навигационных звезд в Южном полушарии

Очень большую часть неба Южного полушария занимает большое, но слабое и бесформенное созвездие Эридан. Оно простирается по одной из самых пустынных областей неба. Его единственная яркая звезда Ахернар является навигационной. В связи с тем, что в данной части неба, кроме звезды Ахернар, нет других ярких звезд, приходится использовать звезду Хамаль, расположенную в Северном полушарии вблизи экватора, хотя она и не очень яркая.

Почти все перечисленные навигационные звезды расположены на одной дугообразной линии, идущей вокруг Южного полюса мира.

Чтобы овладеть рассмотренными правилами отыскания навигационных звезд, необходимо не только изучать их, но и провести ряд тренировок по применению этих правил непосредственно на

звездном небе. Наиболее рациональным способом изучения звездного неба является изучение его в планетарии, где можно имитировать вид звездного неба для любого времени суток и разных широт. Каждый штурман должен натренировать себя так, чтобы находить нужные созвездия и звезды не только при видимости всего неба, но и отдельных его участков. Для безошибочного отыскания и опознавания навигационных звезд, кроме особенностей конфигураций созвездий и взаимного расположения их, нужно учитывать цвет и звездные величины отыскиваемых звезд и звезд, распложенных рядом.

Все рассмотренные навигационные звезды могут быть использованы для самолетовождения. Однако следует иметь в виду, что возможность их видимости на небе зависит от широты места наблюдения, времени года и суток.

В середине ночи доступны наблюдению те созвездия, которые находятся в части неба, противоположной Солнцу. Зная даты нахождения Солнца в основных точках эклиптики, можно по картам звездного неба, прилагаемым к ААЕ, легко определить созвездия, расположенные на ночной стороне звездного неба, видимые в данное время года.

Отыскание планет производится по другим правилам, чем отыскание звезд, так как у них нет постоянного места на небе. Они непрерывно блуждают среди звезд. Из четырех планет, используемых для самолетовождения, обычно бывает видна одна, часто — две, иногда — три, а случается, что и все четыре одновременно. Планеты всегда наблюдаются вблизи эклиптики, которую легче всего найти на небе по навигационным звездам Антаресу, Спике, Регулу и Альдебарану (см. рис. 2.1). Эти звезды расположены почти на эклиптике и часто две или даже три бывают видны одновременно. Недалеко от линии, проходящей через указанные звезды, наблюдается одна или две планеты.

Положение планет, применяемых для самолетовождения, на дату наблюдения определяют по специальным схемам, прилагаемым к ААЕ. Зная, в какой части неба расположены планеты, их всегда легко узнать по ровному немерцающему свету и яркости. Этим они отличаются от звезд.

Венера по яркости намного превосходит все звезды. Она светит серебристо-белым светом. Наблюдается после захода Солнца или перед его восходом. При максимальном удалении от Солнца она заходит не позднее чем через 3—4 часа после заката Солнца или восходит не ранее чем за 3—4 часа до восхода Солнца.

Марс легко узнать по красноватому оттенку. Яркость Марса сильно меняется в зависимости от его расстояния до Земли. Иногда он значительно ярче Сириуса, а иногда его яркость ослабевает до второй звездной величины и он наблюдается как Полярная.

Юпитер имеет желтоватый цвет. Он менее ярк, чем Венера, но тоже светит ярче всех звезд.



Сатурн по яркости слабее Юпитера. Его видимая яркость примерно равна яркости звезд первой величины. Он, как и Юпитер, имеет желтоватый цвет. Возможность видимости планет зависит от их положения относительно Солнца. Если планета находится поблизости или в том же созвездии, что и Солнце, то дневной свет не позволит наблюдать ее. Поэтому при выборе планет для самолетождения всегда необходимо учитывать взаимное положение планет и Солнца.

Рассмотрим на примере, как узнать, какие созвездия и планеты будут наблюдаться в данную ночь, как отыскать и опознать нужную звезду. Дата полета 5 января 1975 г. Время использования астрономических средств с 22 до 24 ч. Географическая широта наблюдателя  $50^{\circ}$ с.

Известно, что видимая картина звездного неба зависит от положения Солнца на эклиптике. По ежедневным таблицам ААЕ находим, что 5 января прямое восхождение Солнца равно  $286^{\circ}$ . Используя приложение 3, определяем, что Солнце в указанную дату находится в созвездии Стрельца. Поэтому это созвездие и созвездия соседние с ним будут находиться на небе днем. В обычных условиях увидеть их нельзя. Ночью будут видны те созвездия, которые расположены в диаметрально противоположной Солнцу части неба, т. е. созвездия, прямое восхождение которых отличается на  $180^{\circ}$  от прямого восхождения Солнца. Это будут созвездия Близнецов, Возничего, Тельца, М. Пса и Ориона.

Пусть требуется отыскать навигационную звезду Поллукс. Эта звезда входит в созвездие Близнецов, характерное своими двумя яркими звездами — Поллуксом и Кастором. Чтобы не перепутать их, нужно посмотреть в таблицу, приведенную в ААЕ, и узнать, какие звездные величины имеют данные звезды. Звездная величина Поллукса 1,21, а Кастора 1,99—2,85. По этим данным видим, что звезда Поллукс ярче звезды Кастор. Кроме того, известно, что Поллукс желтая звезда, а Кастор белая. И, наконец, звезда Поллукс находится ближе к созвездию М. Пса, чем звезда Кастор. Все указанные выше особенности помогают отыскать и безошибочно опознать звезду Поллукс.

По схемам, приведенным в ААЕ, узнаем, что 5 января в созвездии Близнецов находится планета Сатурн. Зная склонение этой планеты и звезды Поллукс, а также широту места наблюдателя, находим, что высота указанных светил в момент их кульминации не превышает  $70^{\circ}$ . Следовательно, они удобны для наблюдения для данных в примере условий.

### ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

#### 1. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Вопрос измерения времени решался на протяжении всей истории развития человечества. Проблема времени одна из древнейших. На первый взгляд кажется, что время является очень простым понятием. Но вместе с тем трудно себе представить более сложное понятие, чем время.

Величайший философ древнего мира Аристотель за четыре столетия до нашей эры писал, что среди неизвестного в окружающей нас природе самым неизвестным является время, ибо никто не знает, что такое время и как им управлять. Научное понимание мира позволило объяснить, что такое время. Марксистско-ленинская философия рассматривает время как одну из объективных форм существования материи. Диалектический материализм утверждает, что весь окружающий мир, вся Вселенная находятся в непрерывном движении и изменении во времени и пространстве.

Время непрерывно течет и не может быть остановлено. На разных этапах развития науки и техники разрабатывались различные средства и способы его измерения.

Время имеет большое значение в жизни человека и всего современного общества. Знание точного времени необходимо во многих отраслях науки, техники, в народном хозяйстве и в быту.

Особенно велика роль времени в самолетовождении, где оно является одним из основных навигационных элементов. Точное время необходимо знать для руководства полетами, при определении местонахождения воздушного судна и особенно при использовании астрономических средств самолетовождения. Точность измерения времени является одним из важнейших условий повышения безопасности и регулярности полетов в ГА.

Измерение времени основано на вращении Земли вокруг своей оси и на обращении ее вокруг Солнца. Эти процессы непрерывно совершаются в природе и имеют достаточно постоянные периоды повторения, что позволяет использовать их в качестве естественных единиц измерения времени. Кроме указанных естественных процессов, для измерения времени пользуются различными искусственно создаваемыми процессами, имеющими стабильный пери-

од повторения, например колебания маятника или колебания кварцевой пластинки, помещенной в высокочастотное электрическое поле.

До недавнего времени считалось, что период вращения Земли строго постоянен, и поэтому предполагалось, что самые идеальные часы — это вращающаяся Земля. Ныне доказано, что скорость вращения Земли не является абсолютно постоянной. Поэтому для точного измерения времени стали использовать другие естественные процессы, постоянство периодичности которых превосходит постоянство периода вращения Земли. Такими процессами являются собственные колебания молекул и атомов некоторых веществ. С помощью молекулярных и атомных часов удается измерять время с точностью  $10^{-9}$ . Применение высокоточных атомных часов позволило определить неравномерность вращения Земли. Атомные и молекулярные часы очень сложны и применяются в тех областях науки и техники, где нужна очень высокая точность измерения времени.

Астрономические методы измерения времени отличаются своей простотой и широко применяются в практике для проверки часов по скорости вращения Земли с точностью, удовлетворяющей многие современные практические и научные требования.

При измерении времени астрономическими методами основными единицами являются сутки и год.

Сутками называется промежуток времени, в течение которого Земля совершает полный оборот вокруг своей оси относительно какой-нибудь точки на небесной сфере. Сутки делятся на 24 ч, час — на 60 мин, минута — на 60 с, секунда — на десятые, сотые и более мелкие доли. Для измерения больших промежутков времени служит другая единица — тропический год, соответствующий периоду обращения Земли вокруг Солнца.

В авиационной астрономии применяются три различных единицы измерения времени: звездные, истинные солнечные и средние солнечные сутки. Время, измеряемое этими единицами, называется соответственно звездным, истинным солнечным и средним солнечным временем.

Продолжительность суток зависит от того, относительно какой точки на небесной сфере определяется период вращения Земли вокруг своей оси. За точки, по которым определяется продолжительность суток, принимаются: точка весеннего равноденствия, центр истинного или центр среднего Солнца. За начало суток принимается момент верхней (или нижней) кульминации избранной точки на данном меридиане. Название времени принято давать в зависимости от названия меридиана, на котором оно определяется, и названия точки, выбранной для определения периода вращения Земли. Например, местное звездное время, гринвичское истинное солнечное время.

Изучение вопросов измерения времени по движению небесных светил требует определенной теоретической базы, основой которой

являются единицы звездного и солнечного времени. Рассмотрим подробней единицы измерения времени, применяемые в авиационной астрономии.

## 2. ЗВЕЗДНОЕ ВРЕМЯ

Определять звездное время принято по точке весеннего равноденствия. Промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же меридиане называется звездными сутками. За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия (рис. 3.1). Звездное время измеряется часовым углом точки весеннего равноденствия. В момент начала звездных суток точка весеннего равноденствия находится в верхней кульминации и поэтому ее часовой угол равен 0. Так как Земля непрерывно вращается вокруг своей оси, то с течением времени часовой угол будет увеличиваться и по его значению можно судить о протекшем времени. Таким образом звездным временем  $S$  называется западный часовой угол точки весеннего равноденствия. Следовательно, звездное время на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу точки весеннего равноденствия, т. е.  $S = t\gamma$ .

Рассматривая звездное время, следует иметь в виду, что точка весеннего равноденствия находится на бесконечно большом расстоянии и поэтому движение Земли по орбите не изменяет ее видимого положения на небесной сфере. Период вращения Земли относительно точки весеннего равноденствия остается неизменным. Поэтому звездные сутки имеют постоянную продолжительность. Звездное время широко применяется в авиационной астрономии. Для гринвичского меридиана оно дано в ААЕ на каждый час времени соответствующей даты (см. приложение 5). Пользоваться звездным временем неудобно, так как оно не связано с Солнцем, относительно которого строится распорядок жизни людей.

Взаимное положение Солнца и точки весеннего равноденствия в течение года непрерывно меняется. Двигаясь по эклиптике, Солнце за сутки смещается относительно точки весеннего равноденствия почти на  $1^\circ$  (рис. 3.2). Вследствие этого звездные сутки короче солнечных на 3 мин 56 с и их начало в течение года приходится на различное время дня и ночи. Из рис. 3.2 видно, что Солнце только раз в году кульминирует вместе с точкой весеннего равноденствия в полдень в ноль часов звездного времени. Это бывает тогда, когда Солнце

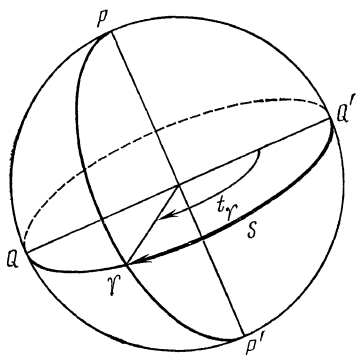


Рис. 3.1. Звездное время

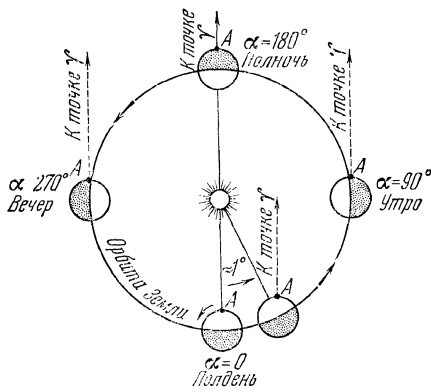


Рис. 3. 2. Связь между звездными и солнечными сутками

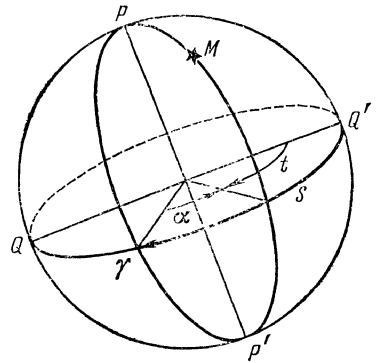


Рис. 3. 3. Зависимость между звездным временем, часовым углом и прямым восхождением светила

проходит через точку весеннего равноденствия, т. е. когда его прямое восхождение равно 0. Через одни звездные сутки точка весеннего равноденствия снова будет находиться в верхней кульминации, а кульминация Солнца наступит примерно лишь через 4 мин, так как за одни звездные сутки оно сместится к востоку относительно точки весеннего равноденствия примерно на  $1^\circ$ . Еще через одни звездные сутки кульминация Солнца наступит уже приблизительно через 8 мин после начала звездных суток.

Таким образом, время кульминации Солнца непрерывно увеличивается. За месяц звездное время кульминации увеличится примерно на 2 ч, а за год — на 24 ч. Следовательно, ноль часов звездного времени приходится на разное время солнечных суток, что затрудняет пользование звездным временем в повседневной жизни.

**Зависимость между звездным временем, часовым углом и прямым восхождением светила.** Измерить часовой угол точки весеннего равноденствия или заметить момент прохождения ее через меридиан наблюдателя невозможно, так как она является воображаемой и на небесной сфере не видна. Следовательно, непосредственно определить звездное время по точке весеннего равноденствия нельзя. Поэтому практически определение начала звездных суток и звездного времени в любой момент производят по какой-либо звезде, прямое восхождение которой известно (рис. 3.3.). Зная прямое восхождение звезды и измерив ее часовой угол, можно определить звездное время. Из рис. 3.3 видно, что между звездным временем, часовым углом и прямым восхождением светила имеется очевидная зависимость, которую через координаты звезды можно записать в виде

$$S = t + \alpha.$$

Из этой зависимости следует, что звездное время в любой момент равно сумме часового угла звезды и ее прямого восхождения. Обычно в астрономических обсерваториях звездные часы проверяют по кульминирующей звезде. Поскольку в этот момент часовой угол звезды равен нулю, то звездное время будет соответствовать прямому восхождению данной звезды, т. е.  $S = \alpha$ .

Из рис. 3.3 можно вывести еще одну зависимость, которая широко применяется в практике авиационной астрономии для определения часовых углов звезд:  $t = S - \alpha$ . На основании этой формулы производится расчет часовых углов навигационных звезд по звездному времени и прямому восхождению, взятых из ААЕ. Этот расчет упрощает составление ААЕ и уменьшает его объем.

### 3. ИСТИННОЕ СОЛНЕЧНОЕ ВРЕМЯ

Истинное солнечное время связано с движением истинного Солнца. В качестве единицы измерения времени приняты истинные солнечные сутки. Из практических соображений условились за начало истинных солнечных суток на данном меридиане считать момент нижней кульминации истинного Солнца, т. е. момент средней полуночи (рис. 3.4). Это вызвано тем, что начало суток удобнее считать не с полудня, а с полуночи. В противном случае пришлось бы изменять дату среди дня. Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями центра видимого диска истинного Солнца на одном и том же меридиане называется истинными солнечными сутками. В момент нижней кульминации истинного Солнца его часовой угол равен  $180^\circ$ , а истинное солнечное время равно 0. Вследствие вращения Земли часовой угол будет увеличиваться и по его изменению можно судить о времени нижней кульминации истинного Солнца.

Таким образом, истинным солнечным временем  $T_{\odot}$  называется время, протекшее от момента нижней кульминации истинного Солнца до любого другого его положения и выраженное в долях истинных солнечных суток. Истинное солнечное время на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу истинного Солнца  $t_{\odot}$ , выраженному во времени, и измененному на 12 ч, т. е.  $T_{\odot} = t_{\odot} \pm 12 \text{ ч}$ .

Если Солнце не закрыто облаками, то можно непосредственно измерить его часовой угол и затем рассчитать истинное солнечное время. В момент верхней кульминации (в истинный полдень)  $t_{\odot} = 0$  и, следовательно, истинное солнечное

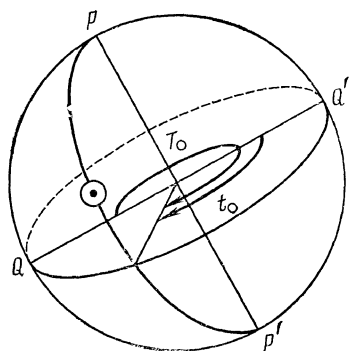


Рис. 3. 4. Истинное солнечное время

время в полдень всегда равно 12 ч. Как видно из этого, измерять время истинными солнечными сутками просто. Истинное солнечное время согласуется с условиями естественного освещения, но все же пользоваться им в повседневной жизни так же неудобно, как и звездным. Сложность применения этого времени в повседневной жизни состоит

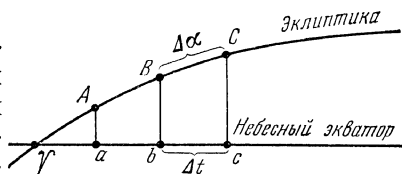


Рис. 3.5. Влияние наклона эклиптики на продолжительность истинных солнечных суток

в том, что продолжительность истинных солнечных суток в течение года меняется. И хотя это изменение невелико, учесть его практически нельзя, так как для этого нужно было бы ежедневно регулировать часы, чтобы они показывали истинное время.

Истинные солнечные сутки изменяют свою продолжительность в течение года по двум причинам. Первая причина состоит в том, что неравномерное движение Земли по орбите вокруг Солнца определяет неравномерность видимого движения Солнца по эклиптике. В летнее время оно движется медленнее, чем в зимнее. Поэтому истинные солнечные сутки длиннее зимой, а короче летом. Максимальная разница в продолжительности истинных солнечных суток составляет примерно 51 с.

Вторая причина изменения продолжительности истинных солнечных суток заключается в том, что Солнце движется не по небесному экватору, в плоскости которого ведется отсчет часовых углов, а по эклиптике, значительно наклоненной к небесному экватору. Поэтому даже если бы Солнце перемещалось по эклиптике равномерно, то и тогда бы продолжительность истинных солнечных суток была бы неодинаковой. Из рис. 3.5 видно, что равные дуги  $\gamma A = AB = BC$  эклиптики, спроектированные на небесный экватор, образуют отрезки, которые по величине отличаются от соответствующих отрезков эклиптики. Вблизи равноденственных точек спроектированные отрезки меньше соответствующих отрезков эклиптики, а вблизи точек солнцестояний больше. Уменьшение отрезков вблизи равноденственных точек обусловлено наклоном проектируемых дуг эклиптики к небесному экватору, а увеличение отрезков вблизи точек солнцестояний — расхождением часовых кругов по мере их удаления от полюсов.

Указанные причины приводят к тому, что истинные солнечные сутки непостоянны по своей продолжительности и поэтому мерой времени служить не могут, так как основное свойство единицы измерения — ее постоянство. Поскольку истинное солнечное время неравномерно и продолжительность истинных солнечных суток не является постоянной величиной в течение года, пользоваться истинным солнечным временем в повседневной жизни неудобно. Поэтому для измерения солнечного времени в практической жизни было введено среднее Солнце, которое обеспечивает постоянство продолжительности солнечных суток и в то же время связывает их с движением истинного Солнца.

#### 4. СРЕДНЕЕ СОЛНЕЧНОЕ ВРЕМЯ

За основную единицу среднего солнечного времени приняты средние солнечные сутки.

Средним Солнцем называется воображаемая точка на небесной сфере, равномерно движущаяся по небесному экватору в том же направлении, в котором истинное Солнце движется по эклиптике, и совершающая полный оборот за то же время, что и истинное Солнце. За начало средних солнечных суток на данном меридиане (рис. 3.6) принят момент нижней кульминации среднего Солнца (средняя полночь). Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца на одном и том же меридиане называется средними солнечными сутками. Продолжительность средних солнечных суток постоянна и равна средней продолжительности истинных солнечных суток за год. Время, протекшее от момента нижней кульминации среднего Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток, называется средним солнечным временем  $t_{\otimes}$ . Среднее солнечное время на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу среднего Солнца  $t_{\otimes}$ , выраженному во времени и измененному на 12 ч, т. е.  $T_{\otimes} = t_{\otimes} \pm 12$  ч.

Знак плюс берется в том случае, если часовой угол среднего Солнца, выраженный во времени, меньше 12 ч, а знак минус — если больше 12 ч.

Введение среднего Солнца устраняет непостоянство продолжительности солнечных суток и неравномерность истинного солнечного времени.

Продолжительность средних солнечных суток строго постоянна, и они вполне согласуются с движением истинного Солнца. В этом и состоит практическое значение среднего Солнца. Хотя между истинным и средним солнечным временем имеется не-

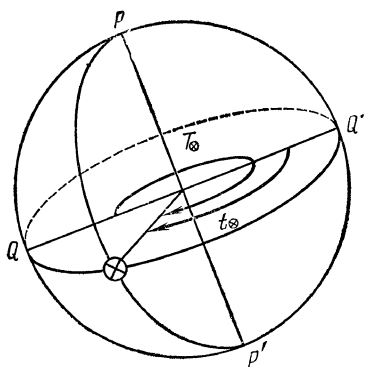


Рис. 3.6. Среднее солнечное время

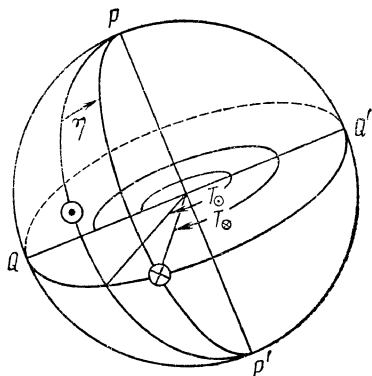


Рис. 3.7. Уравнение времени



которая разность, но она незначительная и поэтому человек не замечает расхождения между средним солнечным временем и положением истинного Солнца над горизонтом.

Среднее солнечное время положено в основу измерения времени в повседневной жизни.

## 5. УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Среднее солнечное время невозможно определить путем непосредственного наблюдения среднего Солнца, так как среднее Солнце является воображаемой точкой, которая на небесной сфере ничем не обозначена. Поэтому среднее солнечное время определяют через истинное.

Для перехода от истинного к среднему солнечному времени необходимо знать поправку, называемую уравнением времени, вычисленную для момента наблюдения истинного Солнца.

Уравнением времени  $\eta$  называется разность между средним и истинным солнечным временем в один и тот же момент (рис. 3.7). Уравнение времени определяется по формуле  $\eta = T_{\otimes} - T_{\odot}$ . Так как среднее Солнце может проходить меридиан наблюдателя то раньше, то позже истинного Солнца, уравнение времени может быть как положительной, так и отрицательной величиной. Из последнего соотношения следует:  $T_{\otimes} = T_{\odot} + (\pm\eta)$ . Таким образом, среднее солнечное время в любой момент равно алгебраической сумме истинного солнечного времени и уравнения времени.

Уравнение времени может быть приближенно определено по графику уравнения времени (рис. 3.8) или точно вычислено по ААЕ для любого момента, так как оно в отдельные дни года может изменяться в течение суток более чем на 30 с. Как видно из графика, уравнение времени в течение года изменяется в пределах от +14,3 до -16,4 мин и четыре раза равно нулю: около 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря. В эти дни среднее и истинное Солнце находятся на одном часовом круге и поэтому среднее солнечное время не расходится с истинным солнечным временем. Наибольшее положительное значение (+14,3 мин) уравнение времени имеет около 11 февраля, а наибольшее отрицательное (-16,4 мин) около 2 ноября.

Уравнение времени позволяет переходить от истинного солнечного времени к среднему и наоборот. В авиационной астрономии уравнение времени используется для приближенного расчета часового угла истинного Солнца, когда нет ААЕ, по показанию часов, идущих по среднему времени. В практике также

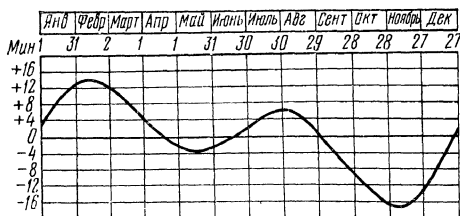


Рис. 3. 8. График уравнения времени

приходится рассчитывать время кульминации истинного Солнца по среднему времени, так как оно вследствие изменения уравнения времени в течение года для каждого дня будет различным.

## 6. СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ

В авиационной практике приходится изучать и применять несколько систем счисления времени. Наличие различных систем счисления вызвано практическими потребностями самолетовождения. В практике приходится вести счисление времени для меридиана наблюдателя, гринвичского меридиана и средних меридианов часовых поясов. В зависимости от того, на каком меридиане определяется время, различают системы местного, гринвичского и поясного времени. Существует еще система счисления декретного времени. В штурманской практике приходится очень часто переходить от одной системы к другой. Для того чтобы правильно пользоваться системами счисления времени, необходимо глубоко усвоить их сущность.

Приступая к рассмотрению систем счисления времени, следует заметить, что до недавнего времени в астрономии за начало средних солнечных суток принимался момент верхней кульминации среднего Солнца, а в обыденной жизни — момент нижней кульминации. Поэтому приходилось различать среднее время «астрономическое» и «гражданское». В связи с тем, что в настоящее время и в астрономии и в обыденной жизни среднее время принято считать от единого момента — момента нижней кульминации — надобность в указанных терминах отпала.

## 7. МЕСТНОЕ ВРЕМЯ

При решении многих задач авиационной астрономии необходимо знать местное время, которое лежит в основе всех астрономических наблюдений.

Местным временем называется время на данном географическом меридиане (меридиане наблюдателя). Каждый меридиан имеет свое местное время. Оно может быть звездным, истинным солнечным и средним солнечным. Все эти времена имеют некоторые общие особенности. Рассмотрим их применительно к местному среднему солнечному времени  $T_m$ , отсчет которого ведется от меридиана средней полуночи.

На рис. 3.9 точка  $O$  представляет собой Северный полюс Земли, прямая  $OA$  — меридиан средней полуночи, а прямые  $OB$  и  $OC$  — географические меридианы пунктов  $B$  и  $C$  земной поверхности, имеющих географические долготы  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Местное среднее солнечное время на указанных меридианах в один и тот же момент обозначено через  $T_{m1}$  и  $T_{m2}$ . Непосредственно из рассматриваемого рисунка можно установить особенности местного времени:

на всем географическом меридиане местное время в один и тот же момент одинаково;

на восток от любого меридиана местное время увеличивается, а на запад уменьшается;

разность местных времен на двух меридианах в один и тот же момент всегда равна разности долгот этих меридианов, выраженной в единицах времени, т. е.  $T_{M2} - T_{M1} = \lambda_2 - \lambda_1$ . Это соотношение широко используется при решении практических задач авиационной астрономии. Оно позволяет определять местное время в заданном пункте по известному времени другого пункта. Местным средним солнечным временем пользоваться в повседневной жизни неудобно, так как даже в различных районах одного большого города оно отличается на некоторую величину, и поэтому увязать его в повседневной жизни, работе транспорта и связи очень трудно.

**Зависимость между временем и долготой места.** Выше было установлено, что местное время тесно связано с долготой места. Следовательно, между временем и долготой места существует определенная зависимость, которую можно установить на основании суточного вращения Земли. За сутки Земля делает полный оборот на  $360^\circ$  относительно той точки небесной сферы, по которой определяется время. Исходя из этого можно вывести следующую зависимость между временем и долготой места:  $360^\circ = 24$  ч;  $15^\circ = 1$  ч;  $15' = 1$  мин;  $15'' = 1$  с;  $1^\circ = 4$  мин;  $1' = 4$  с;  $1'' = 1/15$  с.

Эта зависимость справедлива как для солнечного, так и для звездного времени, т. е. для любой системы измерения времени. Она позволяет долготу места выражать во времени и, наоборот, время выражать в единицах дуги и значительно упрощает решение многих практических задач авиационной астрономии.

**Пример 1.** Долготу  $\lambda = 33^\circ 10'$  перевести во время.

**Решение.** Зная, что  $15^\circ$  соответствуют 1 ч,  $1^\circ$  — 4 мин,  $1'$  — 4 с, определим целое число часов.  $33 \cdot 15 = 2$  ч и в остатке  $3^\circ$ ; переводим полученный остаток градусов во время:  $4 \text{ мин} \times 3 = 12 \text{ мин}$ ; переводим минуты дуги во время:  $4 \text{ с} \times 10 = 40 \text{ с}$ . Окончательно получаем:  $\lambda t = 2 \text{ ч} + 12 \text{ мин} + 40 \text{ с} = 2 \text{ ч } 12 \text{ мин } 40 \text{ с}$ .

**Пример 2.** Долготу во времени  $\lambda t = 6 \text{ ч } 40 \text{ мин } 44 \text{ с}$  перевести в единицы дуги.

**Решение.** Зная, что 1 ч соответствует  $15^\circ$ ; 4 мин соответствуют  $1^\circ$ , 4 с соответствуют  $1'$ , переводим:

целые часы в единицы дуги:  $15^\circ \times 6 = 90^\circ$ ;

минуты времени в единицы дуги.  $40 : 4 = 10^\circ$ ;

секунды времени в единицы дуги.  $44 : 4 = 11'$ .

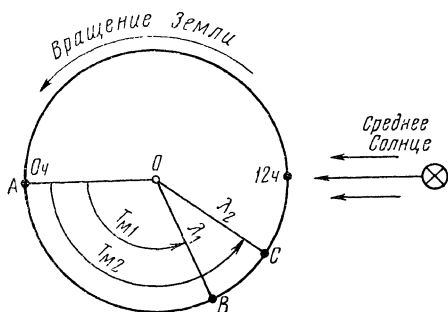


Рис. 3.9. Местное среднее солнечное время

Окончательно получаем:  $\lambda = 90^\circ + 10^\circ + 11' = 100^\circ 11'$ .

**Определение местного времени в заданном пункте.** В практике авиационной астрономии широко используется способ определения местного времени в заданном пункте по известному времени другого пункта. Местное время в заданном пункте определяется по формуле

$$T_{M_2} = T_{M_1} \pm \Delta\lambda t^B,$$

где  $T_{M_1}$  — известное местное время в одном пункте;  $T_{M_2}$  — искомого местного времени в заданном пункте;  $\Delta\lambda t$  — разность долгот данных пунктов, выраженная во времени.

В указанной формуле знак плюс берется, когда заданный пункт расположен восточнее пункта, время которого известно, а знак минус, — когда западнее.

**Пример.** Местное время  $T_{M_1} = 18$  ч 25 мин; долгота пункта  $\lambda_B = 18^\circ$ . Определить местное время  $T_{M_2}$  для этого же момента в заданном пункте, имеющем долготу  $\lambda_B = 39^\circ$ .

**Решение.** 1. Определяем разность долгот данных пунктов:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 39^\circ - 18^\circ = 21^\circ.$$

2. Переводим полученную разность долгот во время:

$$\Delta\lambda t = 1 \text{ ч } 24 \text{ мин.}$$

3. Определяем местное время в заданном пункте. Учитывая, что заданный пункт расположен восточнее пункта, время которого известно, получаем

$$T_{M_2} = T_{M_1} + \Delta\lambda t = 18 \text{ ч } 25 \text{ мин} + 1 \text{ ч } 24 \text{ мин} = 19 \text{ ч } 49 \text{ мин.}$$

## 8. ГРИНВИЧСКОЕ ВРЕМЯ

По гринвичскому времени даются в ААЕ данные о положении светил, указаны моменты восхода и захода Солнца и Луны, а также регулируется работа международных средств транспорта и связи.

Гринвичским (всемирным) временем  $T_{ГР}$  называется местное среднее солнечное время на гринвичском меридиане.

В практике приходится по времени данного места определять время на меридиане Гринвича и, наоборот, по гринвичскому времени находить местное время данного пункта. Перевод местного времени в гринвичское и наоборот производится по формулам:

$$T_{ГР} = T_M \mp \lambda_3^B; \quad T_M = T_{ГР} \pm \lambda_3^B.$$

В указанных формулах долгота места берется во времени. При определении гринвичского времени восточную долготу вычитают, а западную прибавляют. При определении местного времени учет долготы места производится наоборот.

**Пример 1.** Местное время  $T_M = 19$  ч 47 мин; долгота места  $\lambda_B = 76^\circ$ . Определить гринвичское время.

Решение. 1. Переводим долготу данного пункта во время:  $\lambda t = 5$  ч 04 мин.  
2. Определяем время на меридиане Гринвича. Учтявая, что долгота места восточная, получаем:

$$T_{\text{Гр}} = T_{\text{М}} - \lambda_{\text{в}} = 19 \text{ ч } 47 \text{ мин} - 5 \text{ ч } 04 \text{ мин} = 14 \text{ ч } 43 \text{ мин.}$$

**Пример 2.** Гринвичское время  $T_{\text{Гр}} = 8$  ч 10 мин. Определить местное время  $T_{\text{М}}$  на долготе  $\lambda_{\text{в}} = 33^\circ$ .

Решение. 1. Переводим долготу данного пункта во время:  $\lambda t = 2$  ч 12 мин.

2. Определяем местное время на данном меридиане. Так как данный меридиан расположен восточнее гринвичского, то местное время увеличивается и будет равно:  $T_{\text{М}} = T_{\text{Гр}} + \lambda_{\text{в}} = 8 \text{ ч } 10 \text{ мин} + 2 \text{ ч } 12 \text{ мин} = 10 \text{ ч } 22 \text{ мин.}$

## 9. ПОЯСНОЕ ВРЕМЯ

Выше уже говорилось о том, что в повседневной жизни пользоваться местным временем неудобно. Это вызывало необходимость ввода более простой системы счисления времени.

Во второй половине XIX в. страны Европы начали вводить единое время. В качестве такого времени бралось местное время столицы или главной астрономической обсерватории. В нашей стране до 1919 г. каждый город жил по своему осредненному местному времени. На железных дорогах и на телеграфе пользовались единым временем — петербургским. Это введение только частично облегчало счисление времени.

Быстрое развитие общественного производства, расширение экономических связей как внутри стран, так и между ними требовали дальнейшего усовершенствования системы счисления времени в международном масштабе. В 1884 г. по международному соглашению была принята новая система счисления времени по часовым поясам. В нашей стране переход на эту систему был осуществлен с 1 июля 1919 г. Сущность поясного времени заключается в том, что весь земной шар разделен на 24 часовых пояса — от нулевого до 23-го включительно. Каждый пояс занимает по долготе  $15^\circ$ . Средние меридианы соседних поясов отстоят друг от друга на  $15^\circ$ , что соответствует 1 ч времени.

Средним меридианом нулевого часового пояса является гринвичский меридиан. Условились в каждом часовом поясе пользоваться единым для всего пояса временем, соответствующим местному среднему солнечному времени среднего меридиана данного пояса. Таким образом, поясным временем  $T_{\text{п}}$  называется местное среднее солнечное время среднего меридиана данного часового пояса. В соседних часовых поясах время отличается на один час, а минуты и секунды во всех поясах одни и те же, как и на часах Гринвичской астрономической обсерватории. Это представляет значительные удобства при переводе времени.

Номер часового пояса равен долготе его среднего меридиана, выраженной во времени, и показывает, на сколько часов время данного пояса идет впереди гринвичского.

Границы часовых поясов проходят по разграничительным меридианам только в открытых морях, океанах и в ненаселенных

местностях. Если бы строго придерживаться разграничительных меридианов, то в некоторых областях и даже в городах пришлось бы вводить два времени. Поэтому границы поясов проводятся с учетом государственных и административных границ с таким расчетом, чтобы население отдельной страны, края или области вело единое счисление времени.

Вследствие этого границы часовых поясов могут отстоять от среднего меридиана пояса не только на  $7^{\circ}30'$ , но и на  $10-11^{\circ}$ . Однако это отступление не так велико, чтобы расхождение поясного времени с местным ощущалось населением в несоответствии показания часов, идущих по поясному времени, с наступлением, например, рассвета или темноты. Границы часовых поясов периодически пересматриваются. На территории СССР проходит 11 часовых поясов со 2-го по 12-й включительно. Следовательно, максимальная разность во времени в нашей стране составляет 10 ч. Если, например, в Москве 9 ч утра, то в это же время на Чукотке уже 19 ч. Система поясного времени принята почти во всех странах мира.

## 10. КАРТА ЧАСОВЫХ ПОЯСОВ

Карта часовых поясов предназначена для того, чтобы определить, в каких часовых поясах находятся заданные пункты. Для всего земного шара она дается в Авиационном астрономическом ежегоднике. На этой же карте изображены материки, указаны государства и крупные города, границы часовых поясов и их номера. Для территории СССР карта часовых поясов показана на рис. 3.10. Чтобы определить, в каком часовом поясе находится

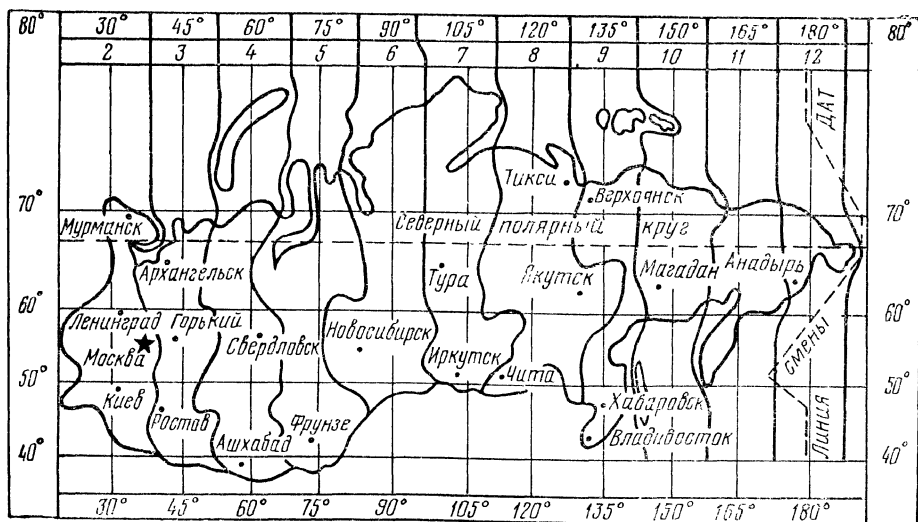


Рис. 3. 10. Карта часовых поясов СССР

тот или иной пункт, необходимо на карте часовых поясов найти заданный пункт по его названию и посмотреть, в каком часовом поясе он расположен. Если заданный пункт на карте не указан, то его положение наносится на карту по широте и долготе, указанным на рамках карты, после чего определяется, в каком часовом поясе он находится.

**Определение поясного времени в заданном пункте.** Система поясного времени позволяет легко определять поясное время в любом пункте. Между поясным временем и часовыми поясами имеется определенная зависимость. Разность поясных времен двух пунктов равна разности номеров часовых поясов, т. е.

$$T_{п2} - T_{п1} = N_2 - N_1,$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — номера часовых поясов;  $T_{п1}$  и  $T_{п2}$  — поясное время в этих часовых поясах. Указанное соотношение позволяет определять поясное время в заданном пункте по известному поясному времени другого пункта.

Поясное время в заданном пункте определяется по формуле

$$T_{п_2} = T_{п_1} \pm \Delta N^B,$$

где  $\Delta N$  — разность номеров часовых поясов данных пунктов.

Указанная разность прибавляется к известному поясному времени, если пункт, время которого определяется, расположен к востоку от пункта, время которого известно, а если к западу — вычитается.

**Пример.** В г. Архангельске поясное время  $T_{п_1} = 14$  ч 30 мин. Определить поясное время  $T_{п_2}$  в данный момент в г. Якутске.

Решение. 1. Определяем по карте часовых поясов, в каких поясах расположены заданные пункты: Архангельск расположен в 3-м часовом поясе, а Якутск в 8-м.

2. Находим разность номеров часовых поясов:  $\Delta N = 8 - 3 = 5$ .

3. Определяем поясное время в заданном пункте. Так как Якутск расположен восточнее Архангельска, то поясное время в Якутске будет больше:  $T_{п_2} = T_{п_1} + \Delta N = 14$  ч 30 мин + 5 = 19 ч 30 мин.

## 11. ДЕКРЕТНОЕ ВРЕМЯ

В нашей стране 16 июня 1930 г. декретом Советского правительства стрелки часов во всех часовых поясах на летний период были переведены вперед относительно поясного времени на 1 ч. Это время получило название декретного. Таким образом, декретным временем  $T_d$  называется поясное время, увеличенное на один час. Декретное время было введено с целью более полного использования населением в летний период солнечного света и экономии топлива и электроэнергии, расходуемых на искусственное освещение.

Рассмотрим целесообразность введения декретного времени. Известно, что основная часть людей встает в среднем в 7 ч и ложится спать в 23 ч. Если начало суток считать по поясному вре-

мени, то в летний период искусственное освещение понадобится только вечером примерно с 21 ч, т.е. на 2 ч. Утром в это время года пользоваться искусственным освещением не приходится, так как рассвет наступает гораздо раньше семи часов. После введения декретного времени утром по-прежнему не нужно будет пользоваться искусственным освещением, зато вечером искусственного освещения понадобится на один час меньше. Таким образом, перевод стрелок часов в летний период вперед на 1 ч создает очевидную экономию электроэнергии, расходуемой на освещение.

9 февраля 1931 г. срок действия декрета был продлен впредь до отмены и распространен на все время года. Зимой декретное время не снижает расхода электроэнергии на освещение, но зато обеспечивает более равномерную нагрузку электростанций в течение суток: днем преимущественно для производства, а вечером для освещения жилых помещений.

С введением декретного времени счисление времени в каждом пункте Советского Союза ведется не по времени того пояса, в котором он находится, а по времени смежного восточного пояса. Например, Москва, расположенная во 2-м часовом поясе, стала жить по времени 3-го пояса.

Декретное время применяется и в других странах. Например, во Франции и Англии стрелки часов постоянно переведены вперед на 1 ч. В Англии декретное время было введено с октября 1967 г. и называется лондонским.

В США и многих других странах стрелки часов переводятся на 1 ч вперед относительно поясного времени только на время летних месяцев. Такое время называется летним временем. Осенью стрелки часов вновь переводятся назад. Период действия летнего времени устанавливается особым распоряжением правительства соответствующей страны.

## 12. МОСКОВСКОЕ ВРЕМЯ

Московским временем  $T_{\text{мск}}$  называется декретное время Москвы. Оно соответствует поясному времени второго часового пояса, увеличенному на 1 ч. Поэтому московское время всегда впереди гринвичского на 3 ч.

По московскому времени составлено расписание движения железнодорожного, морского и воздушного транспорта, производится работа телеграфа, составлены некоторые таблицы и графики, применяемые в самолетовождении. В практике приходится по московскому времени находить время в заданном пункте.

Поясное декретное время в заданном пункте по известному московскому определяется по формуле

$$T_{\text{пд}} = T_{\text{мск}} \pm \Delta N_3^{\text{в}}.$$

В указанной формуле знак плюс берется, когда данный пункт расположен восточнее Москвы, а знак минус — когда западнее.



**Пример.** Московское время  $T_{\text{мск}} = 10$  ч 30 мин. Определить поясное декретное время в Хабаровске.

**Решение 1.** По карте часовых поясов определяем, в каком часовом поясе находится г. Хабаровск: Хабаровск расположен в 9-м часовом поясе.

2. Находим разность между часовым поясом данного пункта и 2-м часовым поясом, в котором находится Москва:  $\Delta N = 9 - 2 = 7$ .

3. Определяем поясное декретное время в заданном пункте. Так как Хабаровск расположен восточнее Москвы, то полученную разность номеров часовых поясов прибавляем к московскому времени:

$$T_{\text{пд}} = T_{\text{мск}} + \Delta N = 10 \text{ ч } 30 \text{ мин} + 7 = 17 \text{ ч } 30 \text{ мин.}$$

### 13. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ВРЕМЕНАМИ

При решении некоторых практических задач по самолетовождению приходится переходить от одной системы счисления времени к другой. Зависимость между различными временами показана на рис. 3.11. Переход от одного времени к другому производится по формулам:

$$T_{\text{м}} = T_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}}; \quad T_{\text{п}} = T_{\text{м}} \mp \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} + N;$$

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{м}} \mp \lambda_{\text{з}}^{\text{в}}; \quad T_{\text{д}} = T_{\text{п}} + 1 \text{ ч};$$

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{п}} - N; \quad T_{\text{п}} = T_{\text{д}} - 1 \text{ ч};$$

$$T_{\text{п}} = T_{\text{гр}} + N; \quad T_{\text{гр}} = T_{\text{мск}} - 3 \text{ ч};$$

$$T_{\text{м}} = T_{\text{п}} - N \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}}; \quad T_{\text{мск}} = T_{\text{гр}} + 3 \text{ ч},$$

где  $N$  — номер часового пояса, в котором расположен данный пункт.

В штурманской практике показание часов принято обозначать буквой  $T$ . Для территории СССР, где показание часов соответствует декретному времени, перевод времени удобнее производить по таким формулам:

$$T_{\text{м}} = T - N_{\text{ч}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}}; \quad T = T_{\text{м}} \mp \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} + N_{\text{ч}},$$

где  $N_{\text{ч}}$  — номер часового пояса, по времени которого идут часы.

**Пример 1.** Показание часов  $T = 8$  ч 42 мин; долгота пункта  $\lambda_{\text{в}} = 30^{\circ}45'$ ; номер часового пояса  $N = 2$ . Определить поясное, гринвичское и местное время.

**Решение 1.** Определяем поясное время:

$$T_{\text{п}} = T - 1 \text{ ч} = 8 \text{ ч } 42 \text{ мин} - 1 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 42 \text{ мин.}$$

2. Определяем гринвичское время:

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{п}} - N = 7 \text{ ч } 42 \text{ мин} - 2 = 5 \text{ ч } 42 \text{ мин.}$$

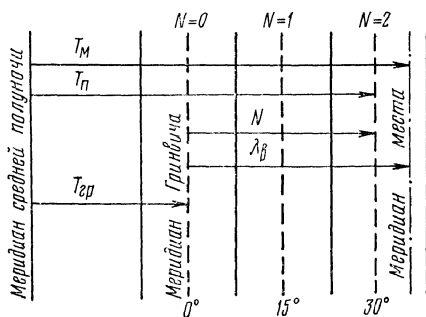


Рис. 3. 11. Зависимость между временами

3. Переводим долготу данного пункта во время и находим местное время:  $\lambda t = 2 \text{ ч } 03 \text{ мин}$ ;  $T_M = T_{ГР} + \lambda_B = 5 \text{ ч } 42 \text{ мин} + 2 \text{ ч } 03 \text{ мин} = 7 \text{ ч } 45 \text{ мин}$ .

**Пример 2.** Местное время в Москве  $T_M = 15 \text{ ч } 50 \text{ мин}$ ; долгота Москвы  $\lambda_B = 37^\circ 34'$ ; номер часового пояса  $N = 2$ . Определить гринвичское, поясное и московское время.

**Решение 1.** Переводим долготу Москвы во время и определяем гринвичское время:  $\lambda t = 2 \text{ ч } 30 \text{ мин } 16 \text{ с}$ ;

$$T_{ГР} = T_M - \lambda_B = 15 \text{ ч } 50 \text{ мин} - 2 \text{ ч } 30 \text{ мин } 16 \text{ с} = 13 \text{ ч } 19 \text{ мин } 44 \text{ с}.$$

2. Находим поясное время:

$$T_{П} = T_{ГР} + N = 13 \text{ ч } 19 \text{ мин } 44 \text{ с} + 2 = 15 \text{ ч } 19 \text{ мин } 44 \text{ с}.$$

3. Определяем московское время:

$$T_{МСК} = T_{ГР} + 3 \text{ ч} = 13 \text{ ч } 19 \text{ мин } 44 \text{ с} + 3 = 16 \text{ ч } 19 \text{ мин } 44 \text{ с}.$$

Если при расчетах сумма времени окажется больше 24 ч, надо из нее вычесть 24 ч и дату изменить на сутки вперед, а если разность времени окажется отрицательным числом, то дату изменить на сутки назад, а время определить как дополнение полученного числа до 24 ч.

## 14. ЛИНИЯ СМЕНЫ ДАТ

В каждой точке земной поверхности новое календарное число начинается с полуночи. Так как полночь в различных пунктах начинается не в один и тот же момент времени, то в разных точках земного шара могут быть различные даты. Чтобы избежать ошибок в счете суток, по международному соглашению установлена линия смены дат (демаркационная линия времени). Эта линия проходит в основном по меридиану  $180^\circ$ . Она идет от Северного полюса через Берингов пролив, обходя многочисленные острова в Тихом океане, и заканчивается на Южном полюсе. На западной стороне этой линии каждый раз в полночь начинается новое календарное число. Поэтому дни по календарю по разные стороны линии смены дат отличаются на одни сутки. К западу от линии календарный счет идет впереди на одни сутки против календаря пунктов, расположенных восточнее от нее. Первыми встречают новый день жители Чукотки, а последними — жители Аляски. При пересечении линии смены дат в направлении с востока на запад необходимо изменить дату на сутки вперед, а при пересечении линии с запада на восток — на сутки назад. Соблюдение этого правила исключает ошибку в счете дат.

## РАСЧЕТ УСЛОВИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫХ СВЕТИЛ

### 1. УСЛОВИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В практике летной работы как штурманам, так и диспетчерам службы движения приходится решать ряд задач, связанных с учетом условий естественного освещения. Почти на всем земном шаре вследствие вращения Земли вокруг своей оси условия естественного освещения в данной точке ее поверхности в течение суток изменяются и оказывают существенное влияние на условия полетов. Так как условия полетов в темную и светлую часть суток различны, то приходится заранее определять, когда наступит темнота или рассвет на аэродроме, а также, где произойдет встреча самолета с этими явлениями на трассе полета.

В зависимости от условий естественного освещения производится выбор технических средств и небесных светил для самолетовождения по трассе, определяется начало и конец дневных срочных вылетов с аэродромов, не оборудованных для ночных полетов, а также установлены метеоминимумы аэродромов для посадки.

Рассмотрим некоторые понятия и определения, связанные с условиями естественного освещения. По условиям естественного освещения сутки принято делить на день, ночь и сумерки. Днем называют светлую часть суток от восхода до захода Солнца, ночью — темную часть суток от захода до восхода Солнца, а сумерками — переходные периоды от момента наступления рассвета до момента восхода Солнца (утренние сумерки) и от момента захода Солнца до момента наступления темноты (вечерние сумерки).

В периоды вечерних и утренних сумерек наблюдается свечение неба. Земная поверхность в эти периоды освещается лучами Солнца, отраженными верхними слоями атмосферы. Вечером по мере погружения Солнца под горизонт отражение солнечных лучей происходит от все более высоких и разреженных слоев атмосферы. Освещенность ослабевает, и поэтому темнота наступает постепенно. Утром перед восходом Солнца наблюдается обратная последовательность явлений.

В соответствии с указанным делением суток полеты подразделяются на дневные и ночные.

Дневным называют полет, выполняемый в период от восхода до захода Солнца, а ночным — полет в период от захода до восхода Солнца, включая и сумерки.

Естественная освещенность непосредственно связана с восходом и заходом Солнца и Луны. В астрономии принято различать истинный и видимый восход и заход светил. Истинным восходом или заходом светила называется момент прохождения центра светила через истинный горизонт. Видимым восходом или заходом светила называется момент прохождения верхнего края диска светила через видимый горизонт наблюдателя.

Для практики полетов имеют значения моменты видимого восхода и захода Солнца и Луны. Поэтому в таблицах и графиках для определения условий естественного освещения указываются именно эти моменты.

При оценке условий естественного освещения необходимо учитывать, что в практике различают гражданские, навигационные и астрономические сумерки. Вечерними гражданскими сумерками называется промежуток времени между заходом верхнего края Солнца и понижением центра Солнца под горизонт на  $6^\circ$  для наблюдателя, находящегося на уровне моря. Утренние гражданские сумерки начинаются перед восходом Солнца — при его высоте минус  $6^\circ$ , и кончаются в момент восхода Солнца.

Навигационные и астрономические сумерки длятся дольше. За начало или конец навигационных сумерек принимается тот момент, когда высота Солнца становится равной минус  $12^\circ$ , а астрономических — минус  $18^\circ$ . В течение гражданских сумерек свечение неба создает такую естественную освещенность, которая еще позволяет визуально обнаруживать самолеты в воздухе и распознавать ориентиры на земле. При высотах Солнца от минус  $6$  до минус  $12^\circ$  на небе видны лишь только наиболее яркие планеты и звезды. В конце вечерних астрономических сумерек исчезают последние следы вечерней зари и на небе становятся видны слабые звезды до 6-й звездной величины включительно. Продолжительность вечерних и утренних сумерек для данной точки земной поверхности в один и тот же день практически одинакова. Границы сумеречного периода не имеют резкого очертания и сдвигаются под влиянием атмосферных условий. Они зависят от географической широты места наблюдателя и от склонения Солнца. Самые короткие сумерки бывают в дни равноденствий и на земном экваторе, а самые длинные — в дни солнцестояний и на географических полюсах.

Высота полета изменяет начало утренних и окончание вечерних сумерек, моменты восхода и захода светил по сравнению с моментами наступления соответствующих явлений на поверхности Земли. С увеличением высоты полета гражданские сумерки

наступают при понижении Солнца под горизонт на угол больше  $6^\circ$ .

Если Солнце в полночь опустится за горизонт менее чем на  $6^\circ$ , то конец вечерних гражданских сумерек будет совпадать с началом утренних, т. е. сумерки в этом случае будут длиться всю ночь. Такие ночи называют белыми. В северных широтах они наблюдаются летом с широты  $60^\circ 34'$  и выше.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

К моментам естественного освещения относятся моменты видимого восхода и захода Солнца и Луны, наступления рассвета и темноты. Моменты естественного освещения можно определять по Календарному справочнику, специальным графикам и по Авиационному астрономическому ежегоднику, в которых они даны для наблюдателя, находящегося на уровне моря.

**Определение моментов восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты по Календарному справочнику.** Календарный справочник состоит из двух частей. Первая часть содержит таблицы № 1, а вторая — таблицы № 2. В таблицах № 1 помещены наиболее крупные пункты земного шара. Список пунктов помещается в начале таблиц. Для каждого пункта в таблицах даны моменты видимого восхода и захода Солнца и продолжительность сумерек по московскому времени через пять дней каждого месяца. Для дат, не указанных в таблицах, моменты восхода и захода Солнца и продолжительность сумерек определяются путем интерполирования. В таблицах также для каждого пункта указан номер часового пояса, в котором он расположен, и поправка в часах для перевода московского времени в поясное декретное время пункта. Рассмотрим порядок определения моментов естественного освещения по таблицам № 1.

**Пример.** Дата 10 февраля; г. Адлер. Определить моменты восхода Солнца (ВС), захода Солнца (ЗС), продолжительность сумерек (ПС), наступления рассвета (НР) и наступления темноты (НТ) по московскому и поясному декретному времени данного пункта.

**Решение 1.** Выписываем из таблиц № 1 для г. Адлера моменты естественного освещения для заданной даты по московскому времени:

$$T_{\text{мск}} \begin{cases} \text{ВС} = 7 \text{ ч } 27 \text{ мин}; & \text{ЗС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин}; & \text{ПС} = 0 \text{ ч } 35 \text{ мин}; \\ \text{НР} = \text{ВС} - \text{ПС} = 7 \text{ ч } 27 \text{ мин} - 0 \text{ ч } 35 \text{ мин} = 6 \text{ ч } 52 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = \text{ЗС} + \text{ПС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин} + 0 \text{ ч } 35 \text{ мин} = 18 \text{ ч } 18 \text{ мин}. \end{cases}$$

Для получения момента начала рассвета необходимо из времени восхода Солнца вычесть продолжительность сумерек, а для получения момента наступления темноты ко времени захода Солнца прибавить продолжительность сумерек.

2. Определяем моменты естественного освещения в заданном пункте по поясному декретному времени. Для перевода московского времени в поясное декретное время пункта необходимо определить разность между часовым поясом данного пункта и московским часовым поясом и прибавить ее к московскому времени, если данный пункт расположен восточнее второго часового пояса, в котором находится Москва, или вычесть, если — западнее.

Перевод выполняется по формуле  $T_{\text{пд}} = T_{\text{мск}} \pm \Delta N_3^B$ . Для г. Адлера поясная поправка  $\Delta N = +1$  ч. Учитывая эту поправку, получаем:

$$T_{\text{пд}} \begin{cases} \text{BC} = 7 \text{ ч } 27 \text{ мин} + 1 \text{ ч} = 8 \text{ ч } 27 \text{ мин}; \\ \text{ЗС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин} + 1 \text{ ч} = 18 \text{ ч } 43 \text{ мин}; \\ \text{НР} = 6 \text{ ч } 52 \text{ мин} + 1 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 52 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = 18 \text{ ч } 18 \text{ мин} + 1 \text{ ч} = 19 \text{ ч } 18 \text{ мин}. \end{cases}$$

**Определение моментов восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты по таблицам № 2.** Таблицы № 2 Календарного справочника предназначены для определения моментов естественного освещения для пунктов, не включенных в таблицы № 1. В этих таблицах моменты естественного освещения на соответствующих широтах даны для меридиана  $30^\circ$  восточной долготы по московскому времени через каждые пять дней.

**Пример.** Дата 26 января; координаты пункта: широта  $\varphi_c = 50^\circ$ ;  $\lambda_B = 80^\circ$ . Пункт расположен в 5-м часовом поясе:  $N = 5$ .

Определить моменты естественного освещения по московскому и пояскому декретному времени данного пункта.

**Решение.** 1. Выписываем из таблиц № 2 для заданной даты и широты пункта моменты естественного освещения на меридиане  $30^\circ$  восточной долготы по московскому времени:

$$T \text{ на } \lambda_B = 30^\circ \begin{cases} \text{BC} = 8 \text{ ч } 43 \text{ мин}; & \text{ЗС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин}; & \text{ПС} = 0 \text{ ч } 43 \text{ мин}; \\ \text{НР} = \text{BC} - \text{ПС} = 8 \text{ ч } 43 \text{ м} - 0 \text{ ч } 43 \text{ мин} = 8 \text{ ч } 00 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = \text{ЗС} + \text{ПС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин} + 0 \text{ ч } 43 \text{ мин} = 18 \text{ ч } 26 \text{ мин}. \end{cases}$$

2. Определяем моменты естественного освещения в заданном пункте по московскому времени. Чтобы определить моменты естественного освещения в заданном пункте по московскому времени, необходимо найти разность между долготой заданного пункта и восточной долготой  $30^\circ$ . Затем полученную разность долгот выразить во времени и учесть в выписанное из таблиц время. Если данный пункт находится восточнее меридиана  $30^\circ$ , то полученную разность долгот во времени вычитают, а если западнее — прибавляют.

Расчет производят по формуле  $T_{\text{мск}} = T_{30^\circ} \mp \Delta \lambda t_3^B$ . Для решаемого примера получаем:  $\Delta \lambda = \lambda \text{ пункта} - 30^\circ = 80^\circ - 30^\circ = 50^\circ$ ;  $\Delta \lambda t_3 = 3 \text{ ч } 20 \text{ мин}$ .

$$T_{\text{мск}} \begin{cases} \text{BC} = 8 \text{ ч } 43 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 20 \text{ мин} = 5 \text{ ч } 23 \text{ мин}; \\ \text{ЗС} = 17 \text{ ч } 43 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 20 \text{ мин} = 14 \text{ ч } 23 \text{ мин}; \\ \text{НР} = 8 \text{ ч } 00 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 20 \text{ мин} = 4 \text{ ч } 40 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = 18 \text{ ч } 26 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 20 \text{ мин} = 15 \text{ ч } 06 \text{ мин}. \end{cases}$$

3. Определяем моменты естественного освещения в заданном пункте по пояскому декретному времени:  $T_{\text{пд}} = T_{\text{мск}} \pm \Delta N_3^B$ . Для данного пункта поясная поправка равна  $\Delta N = 5 - 2 = 3$  ч. Учитывая эту поправку, получаем:

$$T_{\text{пд}} \begin{cases} \text{BC} = 5 \text{ ч } 23 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 8 \text{ ч } 23 \text{ мин}; \\ \text{ЗС} = 14 \text{ ч } 23 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 17 \text{ ч } 23 \text{ мин}; \\ \text{НР} = 4 \text{ ч } 40 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 40 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = 15 \text{ ч } 06 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 18 \text{ ч } 06 \text{ мин}. \end{cases}$$

**Определение моментов восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты по графикам.** Момент восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты можно приближенно определить по графикам, которые приведены в приложениях 8 и 9. Графики составлены для северных широт от  $0$  до  $90^\circ$ . На верхней и нижней рамках графиков нанесены шкалы календарных

дат, а на боковых рамках — шкалы времени. Широта места обозначена рядом кривых линий через определенный интервал. Для промежуточных широт, не обозначенных на графиках, моменты естественного освещения находятся интерполяцией. Графики рассчитаны для меридиана  $30^\circ$  восточной долготы по московскому времени.

Рассмотрим на примере порядок определения моментов восхода и захода Солнца с помощью графика.

**Пример.** Дата 20 апреля; координаты пункта: широта  $\varphi_c = 55^\circ$ ; долгота  $\lambda_B = 82^\circ 56'$ . Пункт расположен в 6-м часовом поясе:  $N = 6$ . Определить моменты восхода и захода Солнца в заданном пункте по московскому и поясному декретному времени.

**Решение.** 1. Определяем по полетной карте географические координаты данного пункта. В решаемом примере координаты пункта и номер часового пояса указаны в условии.

2. Находим по карте часовых поясов, в каком поясе находится данный пункт.

3. Определяем по графику (приложение 8) для заданной даты и широты пункта моменты восхода и захода Солнца на меридиане  $30^\circ$  восточной долготы. Для определения момента восхода Солнца нужно на верхней шкале графика найти заданную дату и из нее провести линию вниз до пересечения с кривой широты пункта. Затем из полученной точки провести горизонтальную линию и на боковой рамке графика отсчитать искомый момент восхода Солнца на меридиане  $30^\circ$  восточной долготы. Для определения момента захода Солнца заданную дату берут на нижней рамке графика. Получаем:

$$T \text{ на } \lambda_B = 30^\circ \text{ BC} = 5 \text{ ч } 40 \text{ мин}; \quad \text{ЗС} = 20 \text{ ч } 25 \text{ мин.}$$

4. Определяем моменты восхода и захода Солнца в заданном пункте по московскому времени. Расчет ведется по формуле

$$T_{\text{мск}} = T_{30^\circ} \mp \Delta \lambda t_3^B.$$

$$\Delta \lambda = \lambda \text{ пункта} - 30^\circ = 82^\circ 56' - 30^\circ = 52^\circ 56'; \quad \Delta \lambda t_3 = 3 \text{ ч } 32 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{мск}} \begin{cases} \text{BC} = 5 \text{ ч } 40 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 32 \text{ мин} = 2 \text{ ч } 08 \text{ мин}; \\ \text{ЗС} = 20 \text{ ч } 25 \text{ мин} - 3 \text{ ч } 32 \text{ мин} = 16 \text{ ч } 53 \text{ мин.} \end{cases}$$

Поправку на долготу места можно определить по шкале, нанесенной внизу графика, которая построена относительно меридиана  $30^\circ$  восточной долготы. Поправку отсчитывают против долготы пункта.

5. Определяем моменты восхода и захода Солнца в заданном пункте по поясному декретному времени:  $T_{\text{п.д.}} = T_{\text{мск}} \pm \Delta N_3^B$ . Для данного пункта поясная поправка  $\Delta N = 6 - 2 = 4$  ч. Учитывая эту поправку, получаем:

$$T_{\text{п.д.}} \begin{cases} \text{BC} = 2 \text{ ч } 08 \text{ мин} + 4 \text{ ч} = 6 \text{ ч } 08 \text{ мин}; \\ \text{ЗС} = 16 \text{ ч } 53 \text{ мин} + 4 \text{ ч} = 20 \text{ ч } 53 \text{ мин.} \end{cases}$$

Определение моментов наступления рассвета и темноты производится аналогично по специальному графику, данному в приложении 9.

**Пример.** Дата 15 августа. Координаты пункта: широта  $\varphi_c = 45^\circ$ ;  $\lambda_B = 70^\circ$ . Пункт расположен в 5-м часовом поясе:  $N = 5$ . Определить моменты наступления рассвета и темноты в заданном пункте по московскому и поясному декретному времени.

**Решение.** 1. Определяем по графику (приложение 9) для заданной даты и широты пункта моменты наступления рассвета и темноты на меридиане  $30^\circ$  восточной долготы.

$$T \text{ на } \lambda_B = 30^\circ \begin{cases} \text{НР} = 5 \text{ ч } 20 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = 20 \text{ ч } 35 \text{ мин.} \end{cases}$$

2. Определяем моменты наступления рассвета и темноты в заданном пункте по московскому времени:

$$\Delta \lambda = \lambda \text{ пункта} - 30^\circ = 70^\circ - 30^\circ = 40^\circ; \quad \Delta \lambda t = 2 \text{ ч } 40 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{мск}} \begin{cases} \text{НР} = 5 \text{ ч } 20 \text{ мин} - 2 \text{ ч } 40 \text{ мин} = 2 \text{ ч } 40 \text{ мин}; \\ \text{НТ} = 20 \text{ ч } 35 \text{ мин} - 2 \text{ ч } 40 \text{ мин} = 17 \text{ ч } 55 \text{ мин.} \end{cases}$$

3. Определяем моменты наступления рассвета и темноты в заданном пункте по поясному декретному времени. Поясная поправка равна  $\Delta N = 5 - 2 = 3$  ч. Учитывая эту поправку, получаем:

$$T_{\text{пл}} \begin{cases} \text{НР} = 2 \text{ ч } 40 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 5 \text{ ч } 40 \text{ мин} \\ \text{НТ} = 17 \text{ ч } 55 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 20 \text{ ч } 55 \text{ мин.} \end{cases}$$

**Расчет моментов восхода и захода светил аналитическим путем.** Специальные графики, таблицы и ААЕ позволяют определять моменты восхода и захода только Солнца и Луны. Для других светил таких пособий нет, и поэтому в случае необходимости их рассчитывают аналитическим путем. В основу этих вычислений положена формула высоты светила:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t.$$

Из этого равенства выводим формулу для расчета часового угла светила в момент его восхода и захода

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}.$$

Если в этой формуле принять высоту светила равной 0, то получим моменты истинного восхода и захода этого светила.

Для расчета моментов видимого восхода и захода светила необходимо высоту светила брать с учетом поправки на рефракцию и видимые угловые радиусы светил, а для Луны дополнительно учитывать поправку на параллакс. При восходе и заходе светил рефракция достигает  $35'$ . Видимые угловые размеры Солнца и Луны берут равными  $16'$ , а параллакс Луны принимают равным  $58'$ . С учетом указанных поправок высоты светил в моменты их видимого восхода и захода принято брать такими: для Луны  $h = -7'$ ; для Солнца  $h = -51''$ ; для звезд и планет  $h = -35'$ . Указанные данные соответствуют положению наблюдателя, находящегося на уровне моря. Если пренебречь указанными поправками, то часовой угол восхода и захода светила определяется по формуле

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

Из формулы видно, что для расчета моментов восхода и захода необходимо знать склонение светила и географические координаты места наблюдения.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; светило — планета Сатурн; долгота места наблюдения  $\lambda_b = 32^\circ 16'$ ; широта места наблюдения  $\varphi_c = 48^\circ 32'$ . Определить моменты истинного восхода и захода планеты Сатурн по московскому времени.

**Решение.** 1. Выбираем из ААЕ (см. приложение 5) для заданной даты склонение планеты Сатурн:  $\delta = +20^\circ 46'$ .

2. Определяем местные часовые углы восхода и захода Сатурна:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta = -\operatorname{tg} 48^\circ 32' \operatorname{tg} 20^\circ 46' = -1,1316 \cdot 0,3792 = -0,4291;$$



$$-\cos t = 0,4291; \quad -\cos t = \cos(180^\circ - t); \quad 180^\circ - t = 64^\circ 35'; \quad t = 115^\circ 25'.$$

Формула расчета дает два значения часового угла:  $t_1 = t$  и  $t_2 = 360^\circ - t$ . Первое значение соответствует заходу, а второе восходу светила. Получаем:  $t_1 = 115^\circ 25'$ ;  $t_2 = 244^\circ 35'$ .

3. Определяем гринвичские часовые углы восхода и захода Сатурна:  $t_{\text{ГР}} = t - \lambda_{\text{В}}$ ;  $t_{\text{ГР}_1} = t_1 - \lambda_{\text{В}} = 115^\circ 25' - 32^\circ 16' = 83^\circ 09'$ ;  $t_{\text{ГР}_2} = t_2 - \lambda_{\text{В}} = 244^\circ 35' - 32^\circ 16' = 212^\circ 19'$ .

4. По ААЕ (см. приложение 5) определяем моменты восхода и захода Сатурна по гринвичскому времени:  $T_{\text{ГР.восх}} = 0 \text{ ч } 14 \text{ мин } 28 \text{ с}$ ;  $T_{\text{ГР.зах}} = 15 \text{ ч } 35 \text{ мин } 40 \text{ с}$ .

5. Определяем моменты восхода и захода Сатурна по московскому времени:

$$T_{\text{Мск.восх}} = T_{\text{ГР.восх}} + 3 \text{ ч} = 0 \text{ ч } 14 \text{ мин } 28 \text{ с} + 3 \text{ ч} = 3 \text{ ч } 14 \text{ мин } 28 \text{ с};$$

$$T_{\text{Мск.зах}} = T_{\text{ГР.зах}} + 3 \text{ ч} = 15 \text{ ч } 35 \text{ мин } 40 \text{ с} + 3 \text{ ч} = 18 \text{ ч } 35 \text{ мин } 40 \text{ с}.$$

При определении моментов восхода и захода Солнца вычисления можно упростить. В этом случае часовые углы восхода и захода изменяют на 12 ч и сразу получают моменты этих явлений по местному истинному солнечному времени. Моменты восхода и захода по местному среднему солнечному времени определяют по формулам:

$$T_{\text{восх}} = t_{\odot \text{восх}} \pm 12 \text{ ч} + (\pm \eta); \quad T_{\text{зах}} = t_{\odot \text{зах}} \pm 12 \text{ ч} + (\pm \eta),$$

где  $\eta$  — уравнение времени.

### 3. АВИАЦИОННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЕЖЕГОДНИК И ПОЛЬЗОВАНИЕ ИМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫХ СВЕТИЛ

Авиационный астрономический ежегодник (ААЕ) предназначен для определения экваториальных координат навигационных светил, расчета условий естественного освещения, а также восхода, захода и фаз Луны в заданной точке. Он издается на каждый год и содержит ежедневные таблицы, в которых даются необходимые астрономические сведения. В приложении 5 приведена одна страница ежедневных таблиц ААЕ на 20 августа 1975 г. В ААЕ приводятся интерполяционные таблицы, графики, схемы перемещения планет среди звезд и карты звездного неба.

**Определение экваториальных координат Солнца для заданного момента с помощью ААЕ.** Экваториальные координаты Солнца и других навигационных светил определяются с целью установки их на астрономических компасах и расчета астрономических линий положения.

ААЕ позволяет определить экваториальные координаты Солнца для любого заданного момента времени.

Рассмотрим на примере порядок определения экваториальных координат Солнца.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; светило—Солнце; долгота места наблюдателя  $\lambda_{\text{В}} = 32^\circ 16'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ .

Определить гринвичский, местный часовой угол и склонение Солнца для времени  $T = 10$  ч 45 мин 52 с.

Решение. 1. Определяем для заданного момента гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{ГР}} = T - N_{\text{Ч}} = 10 \text{ ч } 15 \text{ мин } 52 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 45 \text{ мин } 52 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича — 20 августа.

2. Выбираем из ААЕ (см. приложение 5) для установленной даты и целых часов гринвичского времени значение гринвичского часового угла Солнца. Склонение Солнца выбираем с учетом часов и минут. Получаем:

$$t'_{\text{ГР}} = 284^{\circ}07'; \quad \delta = +12^{\circ}37'.$$

3. Находим по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку к гринвичскому часовому углу на минуты и секунды времени:

$$\Delta t_{\text{ГР}} = 11^{\circ}15' + 0^{\circ}13' = 11^{\circ}28'.$$

4. Определяем гринвичский часовой угол Солнца для заданного момента:

$$t_{\text{ГР}} = t'_{\text{ГР}} + \Delta t_{\text{ГР}} = 284^{\circ}07' + 11^{\circ}28' = 295^{\circ}35'.$$

5. Определяем местный часовой угол Солнца для заданной долготы:

$$t_{\text{М}}^{\text{З}} = t_{\text{ГР}}^{\text{З}} \pm \lambda_{\text{З}}^{\text{В}} = 295^{\circ}35' + 32^{\circ}16' = 327^{\circ}51'.$$

Полученные ответы изображены графически на рис. 4.1.

**Определение экваториальных координат Луны для заданного момента с помощью ААЕ.** При изучении навигационных светил указывалось, что Луна является ближайшим к Земле небесным телом. Она довольно быстро движется по своей орбите, вследствие чего ее экваториальные координаты изменяются гораздо быстрее, чем других небесных светил. Если прямое восхождение Солнца за сутки изменяется в среднем на  $1^{\circ}$ , а склонение не более  $0,4^{\circ}$ , то для Луны эти изменения соответственно равны  $13,2^{\circ}$  и  $4^{\circ}$ .

Быстрое изменение экваториальных координат Луны вызывает некоторые особенности их определения по ААЕ, которые требуют более строгого учета времени и более широкого применения метода интерполяции. Рассмотрим на примере порядок определения экваториальных координат Луны с помощью ААЕ.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; светило — Луна; долгота места наблюдателя  $\lambda_{\text{В}} = 32^{\circ}16'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{Ч}} = 3$ .

Определить гринвичский, местный часовой угол и склонение Луны для времени  $T = 23$  ч 42 мин 28 с.

Решение. 1. Определяем для заданного момента гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:  $T_{\text{ГР}} = T - N_{\text{Ч}} = 23 \text{ ч } 42 \text{ мин } 28 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 20 \text{ ч } 42 \text{ мин } 28 \text{ с}.$

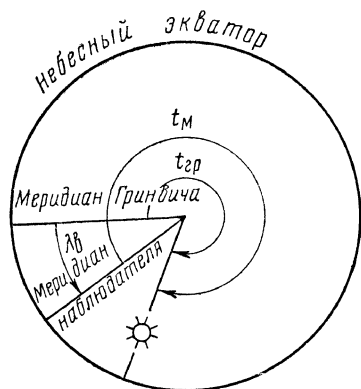


Рис. 4.1. Графическое изображение координат Солнца

Дата на меридиане Гринвича — 20 августа.

2. Выписываем из ААЕ (см. приложение 5) для установленной даты и целых часов гринвичского времени значение гринвичского часового угла  $t'_{ГР}$  и склонение Луны  $\delta'$ , а также квазиразность  $\bar{\Delta}$  и часовую разность склонения  $\Delta$ . Латинское слово «квази» в научных терминах означает «как бы» и применяется в качестве приставки при различных словах. В ААЕ квазиразность представляет собой часовую разность гринвичских часовых углов Луны, уменьшенную на постоянную величину  $14^{\circ}19'$ . Эта величина выбрана с таким расчетом, чтобы квазиразность была всегда положительной. Такой прием упрощает определение поправок к часовому углу и склонению на минуты и секунды времени по интерполяционным таблицам. Для данного примера получаем:

$$t'_{ГР} = 311^{\circ}23'; \quad \delta' = -11^{\circ}18'; \quad \bar{\Delta} = +15'; \quad \Delta = +10'.$$

3. Определяем по интерполяционным таблицам для Луны (см. приложение 12) основную  $\Delta t_{ГР_1}$  и дополнительную  $\Delta t_{ГР_2}$ , поправки к гринвичскому часовому углу и поправку  $\Delta\delta$  к склонению. Указанные поправки выбираются из столбца, соответствующего минутам гринвичского времени. Основная поправка  $\Delta t_{ГР_1}$  определяется по аргументу, равному секундам гринвичского времени, а дополнительная  $\Delta t_{ГР_2}$  — по аргументу квазиразности  $\bar{\Delta}$ . Поправка  $\Delta\delta$  к склонению определяется по аргументу, равному часовой разности склонения  $\Delta$ . Основная и дополнительная поправки всегда положительные, а поправка к склонению имеет знак часовой разности склонения. Получаем:

$$\Delta t_{ГР_1} = 10^{\circ}08'; \quad \Delta t_{ГР_2} = 0^{\circ}11'; \quad \Delta\delta = +0^{\circ}07'.$$

4. Определяем гринвичский часовой угол и склонение Луны для заданного момента:

$$t_{ГР} = t'_{ГР} + \Delta t_{ГР_1} + \Delta t_{ГР_2} = 311^{\circ}23' + 10^{\circ}08' + 0^{\circ}11' = 321^{\circ}42';$$

$$\delta = \delta' + (\pm \Delta\delta) = -11^{\circ}18' + (+0^{\circ}07') = -11^{\circ}11'.$$

5. Определяем местный часовой угол Луны для заданной долготы:

$$t_{м}^3 = t_{ГР}^3 \pm \lambda_{3}^B = 321^{\circ}42' + 32^{\circ}16' = 353^{\circ}58'.$$

**Определение экваториальных координат планет для заданного момента с помощью ААЕ.** Определение экваториальных координат планет с помощью ААЕ производится аналогично определению координат Солнца. В ежедневных таблицах даны необходимые сведения для планет Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна.

**Пример.** Дата 21 августа 1975 г.; светило—планета Юпитер; долгота места наблюдателя  $\lambda_{в} = 32^{\circ}16'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{ч} = 3$ .

Определить гринвичский, местный часовой угол и склонение планеты Юпитер для времени  $T = 2$  ч 51 мин 36 с.

**Решение.** 1. Определяем для заданного момента гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{ГР} = T - N_{ч} = 2 \text{ ч } 51 \text{ мин } 36 \text{ с} + 24 \text{ ч} - 3 \text{ ч} = 23 \text{ ч } 51 \text{ мин } 36 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича — 20 августа.

2. Выбираем из ААЕ (см. приложение 5) для установленной даты и целых часов гринвичского времени значение гринвичского часового угла планеты Юпитер. Склонение планеты выбираем с учетом часов и минут. Получаем:

$$t'_{ГР} = 290^{\circ}17'; \quad \delta = +8^{\circ}10'.$$

3. Находим по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку к гринвичскому часовому углу на минуты и секунды времени:

$$\Delta t_{\text{Гр}} = 12^{\circ}45' + 0^{\circ}09' = 12^{\circ}54'.$$

4. Определяем гринвичский часовой угол планеты для заданного момента:

$$t_{\text{Гр}} = t'_{\text{Гр}} + \Delta t_{\text{Гр}} = 290^{\circ}17' + 12^{\circ}54' = 303^{\circ}11'.$$

5. Определяем местный часовой угол планеты для заданной долготы:

$$t_{\text{М}}^3 = t_{\text{Гр}}^3 \pm \lambda_3^{\text{В}} = 303^{\circ}11' + 32^{\circ}16' = 335^{\circ}27'.$$

**Определение экваториальных координат навигационных звезд для заданного момента с помощью ААЕ.** Для уменьшения объема ААЕ в нем не даны гринвичские часовые углы навигационных звезд. Их определяют на основании известной зависимости между звездным временем, часовым углом и прямым восхождением светила. Прямое восхождение навигационных звезд дано в ААЕ в специальной таблице и на отдельном вкладыше (см. приложение 2).

**Пример.** Дата 21 августа 1975 г.; звезда Капелла; долгота места наблюдателя  $\lambda_{\text{В}} = 32^{\circ}16'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{Ч}} = 3$ .

Определить местное звездное время, гринвичский, местный часовой угол и склонение звезды Капеллы для времени  $T = 1$  ч 16 мин 48 с.

**Решение.** 1. Определяем для заданного момента гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{Гр}} = T - N_{\text{Ч}} = 1 \text{ ч } 16 \text{ мин } 48 \text{ с } + 24 \text{ ч } - 3 \text{ ч} = 22 \text{ ч } 16 \text{ мин } 48 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича — 20 августа.

2. Выбираем из ААЕ (см. приложение 5) для установленной даты и целых часов гринвичского времени значение гринвичского звездного времени:

$$S'_{\text{Гр}} = 298^{\circ}37'.$$

3. Находим по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку к гринвичскому звездному времени на минуты и секунды времени:

$$\Delta S_{\text{Гр}} = 4^{\circ}01' + 0^{\circ}12' = 4^{\circ}13'.$$

4. Определяем гринвичское звездное время для заданного момента:

$$S_{\text{Гр}} = S'_{\text{Гр}} + \Delta S_{\text{Гр}} = 298^{\circ}37' + 4^{\circ}13' = 302^{\circ}50'.$$

5. Определяем местное звездное время для заданной долготы:

$$S_{\text{М}} = S_{\text{Гр}} \pm \lambda_3^{\text{В}} = 302^{\circ}50' + 32^{\circ}16' = 335^{\circ}06'.$$

6. Выбираем из таблицы экваториальных координат звезд (см. приложение 2) прямое восхождение и склонение звезды Капеллы:  $\alpha = 78^{\circ}43'$ ;  $\delta = +45^{\circ}58'$ .

7. Определяем гринвичский часовой угол звезды Капеллы. Известно, что  $S_{\text{Гр}} = t_{\text{Гр}} + \alpha$ , откуда

$$t_{\text{Гр}} = S_{\text{Гр}} - \alpha = 302^{\circ}50' - 78^{\circ}43' = 224^{\circ}07'.$$

8. Определяем местный часовой угол звезды Капеллы:

$t_{\text{М}}^3 = t_{\text{Гр}}^3 \pm \lambda_3^{\text{В}} = 224^{\circ}07' + 32^{\circ}16' = 256^{\circ}23'$ . Полученные ответы изображены графически на рис. 4.2.

**Определение уравнения времени для заданного момента с помощью ААЕ.** Уравнение времени позволяет судить о том, на-

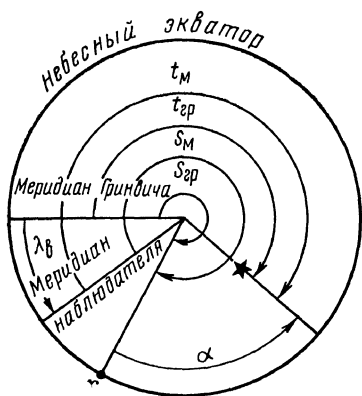


Рис. 4.2. Графическое изображение координат звезды

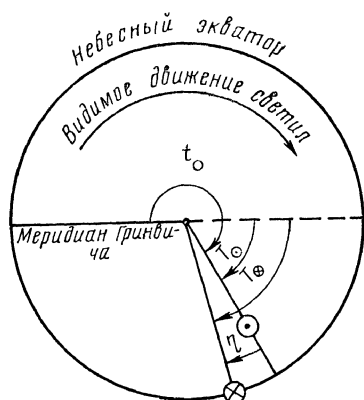


Рис. 4.3. Графическое изображение уравнения времени

сколько расходитсЯ среднее солнечное время, по которому идут часы, с истинным временем, связанным с движением истинного Солнца. Зная величину уравнения времени, можно без ААЕ достаточно точно рассчитать гринвичский часовой угол истинного Солнца, а также определять время кульминации его.

В течение года уравнение времени изменяется, причем это изменение имеет довольно сложный характер. В отдельные периоды года уравнение времени изменяется более чем на 30 с в сутки, а в другие оно остается постоянным в течение 4—5 сут. Поэтому если нужно точно определить уравнение времени для какого-то заданного момента, то его определяют не по графику, а с помощью ААЕ.

Рассмотрим на примере порядок определения уравнения времени с помощью ААЕ.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г. Определить уравнение времени с помощью ААЕ для времени  $T = 7$  ч. Номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_ч = 3$ .

Решение. 1. Определяем гринвичское среднее солнечное время:

$$T_{гр} = T - N_ч = 7 \text{ ч} - 3 \text{ ч} = 4 \text{ ч.}$$

2. Выписываем из ААЕ (см. приложение 5) для заданной даты и полученного гринвичского времени часовой угол истинного Солнца:  $t_{\odot} = 239^{\circ}07'$ .

3. Определяем истинное солнечное время на меридиане Гринвича:

$$T_{\odot} = t_{\odot} \pm 12 \text{ ч} = 239^{\circ}07' - 12 \text{ ч} = 15 \text{ ч } 56 \text{ мин } 28 \text{ с} - 12 \text{ ч} = 3 \text{ ч } 56 \text{ мин } 28 \text{ с.}$$

4. Определяем уравнение времени для заданного момента, учитывая, что часы идут по среднему солнечному времени:

$$\eta = T_{\otimes} - T_{\odot} = 4 \text{ ч} - 3 \text{ ч } 56 \text{ мин } 28 \text{ с} = +3 \text{ мин } 32 \text{ с.}$$

Следовательно, в указанный момент времени истинное Солнце находится зади среднего на 3 мин 28 с. Полученный ответ изображен на рис. 4.3.

Неравномерность видимого движения истинного Солнца по эклиптике приводит к изменению уравнения времени. Чтобы убедиться в этом, определим уравнение времени 20 августа для  $T_{гр} = 12$  ч.

Решение 1. Выписываем из ААЕ для заданной даты и  $T_{гр} = 12$  ч часовой угол истинного Солнца:

$$t_{\odot} = 359^{\circ}08'.$$

2. Определяем истинное солнечное время на меридиане Гринвича:

$$T_{\odot} = t_{\odot} \pm 12 \text{ ч} = 359^{\circ}08' - 12 \text{ ч} = 11 \text{ ч } 56 \text{ мин } 32 \text{ с}.$$

3. Определяем уравнение времени для среднего полдня:

$$\eta = T_{\otimes} - T_{\odot} = 12 \text{ ч} - 11 \text{ ч } 56 \text{ мин } 32 \text{ с} = +3 \text{ мин } 28 \text{ с}.$$

Следовательно, 20 августа 1975 г. с 4 до 12 ч уравнение времени изменилось на 4 с.

**Определение моментов кульминации светил.** Некоторые практические методы в авиационной астрономии требуют измерения высот светил в моменты их кульминации. Моменты кульминации Солнца, Луны и планет определяются по значению местного часового угла, а звезд — по значению местного звездного времени. В момент верхней кульминации местный часовой угол светила  $t_M = 0$ , а в момент нижней кульминации  $t_M = 180^{\circ}$ . Местное звездное время для верхней кульминации звезды  $S_M = \alpha$ , а для нижней кульминации  $S_M = 180^{\circ} + \alpha$ .

Зная долготу наблюдателя, рассчитывают гринвичский часовой угол светила в момент кульминации по формуле  $t_{гр} = t_M \mp \lambda_3^B$ . Для звезд рассчитывают гринвичское звездное время по формуле  $S_{гр} = S_M \mp \lambda_3^B$ . По значению  $t_{гр}$  или  $S_{гр}$  с помощью ААЕ определяется момент кульминации по гринвичскому времени, которое затем переводится в московское или поясное декретное время для данного пункта.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; светило — планета Юпитер; долгота места наблюдателя  $\lambda_B = 32^{\circ}16'$ . Определить момент верхней кульминации планеты Юпитер по московскому времени.

Решение 1. Определяем гринвичский часовой угол Юпитера в момент его верхней кульминации:

$$t_{гр} = t_M \mp \lambda_3^B = 360^{\circ} - 32^{\circ}16' = 327^{\circ}44'.$$

2. Находим в ААЕ (см. приложение 5) по значению  $t_{гр}$  момент верхней кульминации Юпитера по гринвичскому времени:

$$t'_{гр} = 319^{\circ}22'; \quad T'_{гр} = 1 \text{ ч}; \quad \Delta t_{гр} = t_{гр} - t'_{гр} = 327^{\circ}44' - 319^{\circ}22' = 8^{\circ}22';$$

$$\Delta T = 33 \text{ мин } 28 \text{ с}; \quad T_{гр} = T'_{гр} + \Delta T = 1 \text{ ч} + 33 \text{ мин } 28 \text{ с} = 1 \text{ ч } 33 \text{ мин } 28 \text{ с}.$$

3. Определяем момент верхней кульминации Юпитера по московскому времени:

$$T_{мск} = T_{гр} + 3 \text{ ч} = 1 \text{ ч } 33 \text{ мин } 28 \text{ с} + 3 \text{ ч} = 4 \text{ ч } 33 \text{ мин } 28 \text{ с}.$$

#### 4. УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ СОЛНЦА

В практике широко применяется упрощенный способ определения экваториальных координат Солнца, позволяющий определять их при отсутствии ААЕ. В основу этого способа положены

закономерности годового движения среднего Солнца и истинного. Гринвичский часовой угол истинного Солнца определяется по формуле:

$$t_{гр} = (T_{мск} - 3 \text{ ч} \pm 12 \text{ ч}) 15^\circ + \frac{t_{мин}}{4} + (\pm \Delta t).$$

Из приведенной формулы следует, что для определения гринвичского часового угла истинного Солнца необходимо найти часовой угол среднего Солнца и затем учесть поправку к полученному часовому углу на дату полета на величину уравнения времени.

Чтобы упростить указанный расчет, пользуются заранее составленной таблицей (см. приложение 13), в которой для соответствующих часов и минут московского времени указаны гринвичские часовые углы среднего Солнца. Поправки к часовым углам на дату полета определяют по специальному графику (см. рисунок в приложении 13), в котором дано также склонение Солнца. Величина склонения Солнца может быть рассчитана также по формуле

$$\delta = 23,5^\circ \sin n,$$

где  $23,5^\circ$  — максимальная величина склонения Солнца;  $n$  — количество дней, прошедших после равноденствия или предшествующих равноденствию.

Количество дней, прошедших после равноденствия, берется перед солнцестоянием, а количество дней, предшествующих равноденствию, берется после солнцестояния.

Обычно указанную формулу решают с помощью навигационной линейки. Для этого необходимо треугольный индекс шкалы 4 установить на число 23,5, взятое по шкале 5. Затем против количества дней  $n$ , взятого по шкале 3, прочитать по шкале 5 склонение Солнца. Знак склонения определяется в зависимости от положения Солнца на эклиптике.

Рассмотрим на примере порядок определения экваториальных координат Солнца упрощенным способом.

**Пример.** Дата полета 20 августа. Определить гринвичский часовой угол и склонение Солнца для московского времени  $T_{мск} = 10 \text{ ч } 36 \text{ мин}$ .

**Решение.** 1. Определяем по таблице (см. приложение 13) гринвичский часовой угол среднего Солнца для заданного момента времени:

$$t_{гр.ср} = 294^\circ.$$

2. Находим по графику (см. рисунок в приложении 13) поправку к гринвичскому часовому углу на дату полета:  $\Delta t = -1^\circ$ .

3. Определяем гринвичский часовой угол истинного Солнца:

$$t_{гр} = t_{гр.ср} + (\pm \Delta t) = 294^\circ + (-1^\circ) = 293^\circ.$$

4. Определяем склонение Солнца по графику (см. приложение 13):  $\delta = +12,5^\circ$ .

Для расчета склонения Солнца на НЛ находим количество дней, предшествующих равноденствию. От 20 августа до 23 сентября осталось 34 дня. Затем производим действия на НЛ, как это было указано выше, и получаем, что 20 августа склонение Солнца  $\delta = +13^{\circ}10'$ . Точность расчета склонения на НЛ составляет около  $0,5^{\circ}$ .

## 5. УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗВЕЗДНОГО ВРЕМЕНИ

В авиационной астрономии звездное время используется при решении многих практических задач. При отсутствии ААЕ звездное гринвичское время можно определить по специальной таблице (см. приложение 14), в которой оно дано на 0 ч гринвичского времени первого дня каждого месяца.

Приращение звездного времени на заданный день месяца, а также на каждый час дня и на каждую минуту и секунду времени определяется по вспомогательной таблице (см. приложение 15). Полученное приращение прибавляют к звездному гринвичскому времени, выбранному из основной таблицы на 0 ч первого дня данного месяца.

Определяя звездное время, следует помнить, что в течение года вследствие движения Земли по орбите на начало солнечных суток приходится различное значение звездного времени.

**Пример.** Дата полета 20 августа 1975 г. Определить звездное гринвичское время для 19 ч 50 мин 45 с гринвичского времени.

**Решение.** 1. Определяем по таблице (см. приложение 14) звездное гринвичское время на 0 ч 1-го августа 1975 г.:  $S'_{Гр} = 308^{\circ}59'$ .

2. Находим по вспомогательной таблице (см. приложение 15) приращение звездного времени на 0 ч 20-го августа:  $\Delta S_{Гр_1} = 18^{\circ}44'$ .

3. Находим приращение звездного времени на каждый час дня:  $\Delta S_{Гр_2} = 285^{\circ}47'$ .

4. Находим приращение звездного времени на каждую минуту часа:  $\Delta S_{Гр_3} = 12^{\circ}32'$ .

5. Находим приращение звездного времени на секунды времени:  $\Delta S_{Гр_4} = 0^{\circ}11'$ .

6. Определяем звездное гринвичское время для заданного момента:

$$S_{Гр} = S'_{Гр} + \Delta S_{Гр_1} + \Delta S_{Гр_2} + \Delta S_{Гр_3} + \Delta S_{Гр_4} = 308^{\circ}59' + 18^{\circ}44' + 285^{\circ}47' + 12^{\circ}32' + 0^{\circ}11' = 266^{\circ}13'.$$

## 6. РАСЧЕТ АЗИМУТА СОЛНЦА

В практике иногда необходимо знать точное направление истинного меридиана на местности, например при ориентировании антенн радиотехнических систем, при начальной выставке точных курсовых систем, при определении магнитного склонения и т. д.

Основным способом определения направления истинного меридиана на местности является астрономический. Сущность это-



го способа состоит в следующем. С помощью теодолита измеряют азимут Солнца и отмечают по часам точный момент его измерения. Измерение азимута производится относительно линии  $0-180^\circ$  горизонтальной шкалы теодолита. Нуль этой шкалы приближенно устанавливается в направлении на север. Поэтому измеренный азимут, как правило, не соответствует истинному азимуту Солнца.

Для времени измерения с помощью ААЕ определяют местный часовой угол и склонение Солнца. Затем рассчитывают фактический азимут и сравнивают его с измеренным. Выявив таким образом ошибку установки нуля теодолита, находят направление истинного меридиана в данной точке. Расчет азимута Солнца в этом случае производят математическим путем, так как таблицы не обеспечивают вычисление его с точностью более  $1^\circ$ :

$$\text{ctg } A = \sin \varphi \text{ ctg } t - \cos \varphi \text{ tg } \delta \text{ cosec } t.$$

Для получения азимута с высокой точностью, вычисления необходимо производить с применением четырехзначных таблиц тригонометрических функций.

**Пример.** Дата 20-го августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 48^\circ 32'$ , долгота  $\lambda_B = 32^\circ 16'$ ; время измерения азимута Солнца с учетом поправки часов  $T = 16$  ч 13 мин 20 с; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ . Рассчитать азимут Солнца.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время измерения:

$$T_{\text{Гр}} = T - N_{\text{ч}} = 16 \text{ ч } 13 \text{ мин } 20 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 13 \text{ ч } 13 \text{ мин } 20 \text{ с}.$$

2. Находим с помощью ААЕ (см. приложение 5) гринвичский часовой угол и склонение Солнца:

$$t'_{\text{Гр}} = 14^\circ 08'; \quad \Delta t_{\text{Гр}} = 3^\circ 20'; \quad t_{\text{Гр}} = 17^\circ 28'; \quad \delta = +12^\circ 33'.$$

3. Определяем местный часовой угол Солнца:

$$t_{\text{м}} = t_{\text{Гр}} \pm \lambda_{\text{с}}^{\text{в}} = 17^\circ 28' + 32^\circ 16' = 49^\circ 44'.$$

4. Рассчитываем азимут Солнца:

$$\text{ctg } A = \sin \varphi \text{ ctg } t - \cos \varphi \text{ tg } \delta \text{ cosec } t = 0,7494 \times 0,8471 - 0,6622 \times 0,2226 \times 1,3104 = 0,6348 - 0,1932 = 0,4416; \text{ так как } t_{\text{м}}^{\text{с}} = 49^\circ 44', \text{ то } A = 180^\circ + 66^\circ 11' = 246^\circ 11'.$$

## ПРИМЕНЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ КОМПАСОВ

## 1. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ КУРСА САМОЛЕТА С ПОМОЩЬЮ АСТРОНОМИЧЕСКИХ КОМПАСОВ

В настоящее время для определения курса самолета все более широко применяются астрономические компасы.

Астрономическим компасом называется прибор, позволяющий определять истинный курс самолета путем пеленгации небесных светил с учетом вращения Земли и координат места. На современных самолетах астрономические компасы могут применяться самостоятельно, а также могут входить в комплект курсовых систем или в комплект комплексных навигационных систем в качестве астрономического датчика курса.

Основными преимуществами астрономических компасов являются возможность определять курс самолета в любых районах Земли, в том числе и в районах географических и магнитных полюсов, и независимость точности их показаний от продолжительности полета. Единственным недостатком астрономических компасов является то, что применять их можно только при видимости Солнца или звезд. Однако этот недостаток не имеет существенного значения, так как при современных высотах полета визуальная видимость небесных светил не является проблемой.

Определение курса самолета с помощью астрономических компасов связано с пеленгованием светил. По принципу определения курса современные астрокомпасы делятся на горизонтальные и экваториальные.

Горизонтальные астрокомпасы представляют собой устройства, основанные на горизонтальной системе небесных координат. В этих астрокомпасах плоскость пеленгации светила совпадает с плоскостью вертикала светила. Ось вращения этой плоскости проходит в пространстве через точки зенита и надира. К горизонтальным астрокомпасам относятся астрокомпасы ДАК-ДБ-5 и ДАК-ДБ-5В.

Принцип определения истинного курса горизонтальными астрокомпасами (рис. 5.1) основан на измерении курсового угла какого-либо небесного светила и решении уравнения  $IK = A -$

—КУ. При этом азимут светила А вырабатывается в астрокомпасе в зависимости от времени, экваториальных координат светила и географических координат места самолета. Курсовой угол светила КУ измеряется автоматически с помощью фотозлектронической следящей системы. В момент пеленгования светила в вычислителе астрокомпаса определяется разность между азимутом светила и его курсовым углом, которая соответствует истинному курсу самолета.

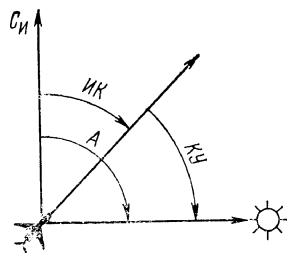


Рис. 5.1. Принцип определения курса самолета с помощью астрономических компасов

Экваториальные (моделирующие) астрокомпасы основаны на экваториальной системе небесных координат, т. е. на моделировании небесной сферы с ее кругами и точками. В этих астрокомпасах плоскость пеленгации светила совпадает с плоскостью круга склонения светила. Ось вращения этой плоскости совпадает в пространстве с осью мира. К экваториальным относятся АК-53П и АК-59П.

В экваториальных астрокомпасах принцип определения истинного курса основан на определении направления истинного меридиана в точке измерения курса путем пеленгования светила. Эти астрокомпасы имеют устройство, состоящее из курсового лимба и круга часовых углов с визирной рамкой. Курсовой лимб и круг часовых углов можно поворачивать относительно основания астрокомпаса, на котором укреплен курсовой лимб. Перед определением курса курсовой лимб устанавливают в плоскости истинного горизонта, а часовой круг — в плоскости небесного экватора. Визирную рамку устанавливают на местный часовой угол светила, который, как известно, отсчитывается от южного направления меридиана наблюдателя в плоскости небесного экватора. Вращением курсового лимба добиваются совмещения плоскости пеленгации с направлением на светило. При указанном положении плоскости пеленгации линия 0—180° (приборный меридиан) курсового лимба совпадает с истинным меридианом данного места, а курсовая черта указывает по лимбу угол, под которым направлена продольная ось самолета относительно истинного меридиана, т. е. указывает истинный курс самолета.

В гражданской авиации применяются и горизонтальные и экваториальные астрокомпасы. Современные автоматические астрокомпасы построены в горизонтальной системе небесных координат, а неавтоматические — в экваториальной.

## 2. ДИСТАНЦИОННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КОМПАС ДАК-ДБ-5

Астрономический компас ДАК-ДБ-5 предназначен для определения и выдерживания истинного или ортодромического курса самолета. Он работает на принципе автоматического пеленгова-

ния Солнца с помощью фотоэлектрической следящей системы и определении разности между азимутом и курсовым углом светила.

Астрокомпас ДАК-ДБ-5 позволяет решать следующие задачи: периодически определять истинный курс самолета по Солнцу в любой точке маршрута;

непрерывно вырабатывать ортодромический истинный курс по Солнцу для полета по ортодромии;

периодически определять истинный курс самолета по Луне, планетам и звездам при наличии связи астрокомпаса с перископическим секстантом СП-1М. В этом случае секстант используется для визуального пеленгования светил, а астрокомпас как счетно-решающее устройство, производящее вычисление азимута пеленгуемого светила и истинного курса самолета;

выдавать сигнал курса самолета в курсовую систему и в автопилот, т. е. астрокомпас ДАК-ДБ-5 может применяться в качестве астрономического датчика курса самолета.

*Астрокомпас ДАК-ДБ-5 имеет следующие технические данные:*

Рабочий диапазон широт . . . . .	$-10 \div \pm 90^\circ$
» » долгот . . . . .	$0 \div \pm 180^\circ$
Условия работы . . . . .	по Солнцу при его высоте до $+70^\circ$
Диапазон склонения светил . . . . .	от $-30 \div +60^\circ$
» путевых скоростей самолета . . . . .	от 200 до 1100 км/ч
Максимально допустимая длина ортодромического участка, на котором обеспечивается работа астрокомпаса без изменения установленных данных . . . . .	1100 км
Время готовности астрокомпаса к работе при температуре минус $60^\circ\text{C}$ . . . . .	до 20 мин
Точность определения курса . . . . .	$\pm 2^\circ$
Питание прибора: постоянным током напряжением . . . . .	$27\text{В} \pm 10\%$ ,
переменным током напряжением $115\text{В} \pm 5\%$ и частотой . . . . .	$400 \text{ Гц} \pm 5\%$ .

### 3. КОМПЛЕКТ И НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ АСТРОКОМПАСА ДАК-ДБ-5

В комплект астрокомпаса ДАК-ДБ-5 входят (рис. 5.2): датчик курсовых углов (ДКУ), блок усилителей, вычислитель, путевой корректор, указатели курса и переходный блок Д-62.

Датчик курсовых углов предназначен для автоматического измерения курсового угла Солнца и дистанционной передачи его в вычислитель. Устанавливается он на самолете сверху фюзеляжа. Основной частью ДКУ является пеленгаторная головка, состоящая из двух фотоэлементов и оптической системы, предназначенной для обеспечения равномерного освещения фотоэлементов.

Пеленгаторная головка смонтирована под защитным прозрачным колпаком из органического стекла. Она имеет круговое вращение при помощи электродвигателя. Если фотоэлементы освеще-

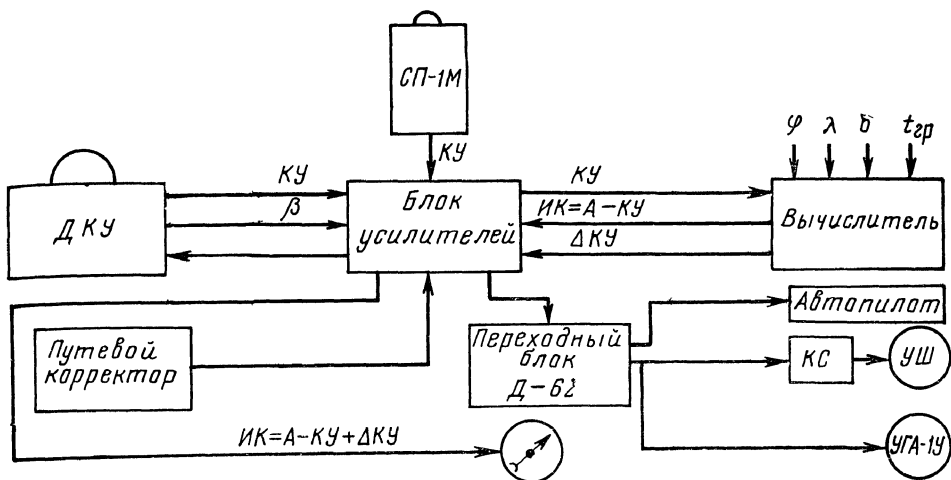


Рис. 52. Принципиальная схема астроконуса ДАК-ДБ-5

щаются Солнцем неодинаково, то электродвигатель поворачивает пеленгаторную головку по кратчайшему пути до совмещения плоскости визирования пеленгаторной головки с направлением на Солнце. После установки пеленгаторной головки в плоскости вертикала Солнца освещенность фотоэлементов становится одинаковой и электродвигатель останавливается. Пеленгаторная головка не имеет карданного подвеса. Поэтому при кренах самолета она наклоняется вместе с ним, что приводит к ошибке в определении курсового угла Солнца, а следовательно, и в вычислении истинного курса самолета. Чтобы исключить влияние крена, в ДКУ имеется кренкорректор, который подает в вычислитель сигнал для выработки креновой поправки курсового угла  $\Delta КУ$ .

Маятниковый кренкорректор жестко связан с пеленгаторной головкой. Ось качания его все время удерживается в плоскости пеленгования. Поэтому он реагирует только на крены, происходящие в плоскости, перпендикулярной к плоскости пеленгования, т. е. именно на те крены, которые влияют на величину измеряемого КУ. Таким образом, истинный курс с учетом креновой поправки определяется по формуле  $ИК = А - КУ + \Delta КУ$ .

В конструкцию ДКУ также входит электродвигатель системы компенсации перемещения самолета при полете по ортодромии, который кинематически связан с осью вращения пеленгаторной головки.

Блок усилителей предназначен для усиления электрических сигналов, поступающих от фотоэлементов, путевого корректора и кренкорректора, а также сигналов других каналов астроконуса и для выдачи сигналов курса самолета на указатели и потребители курса. На лицевой панели блока усилителей

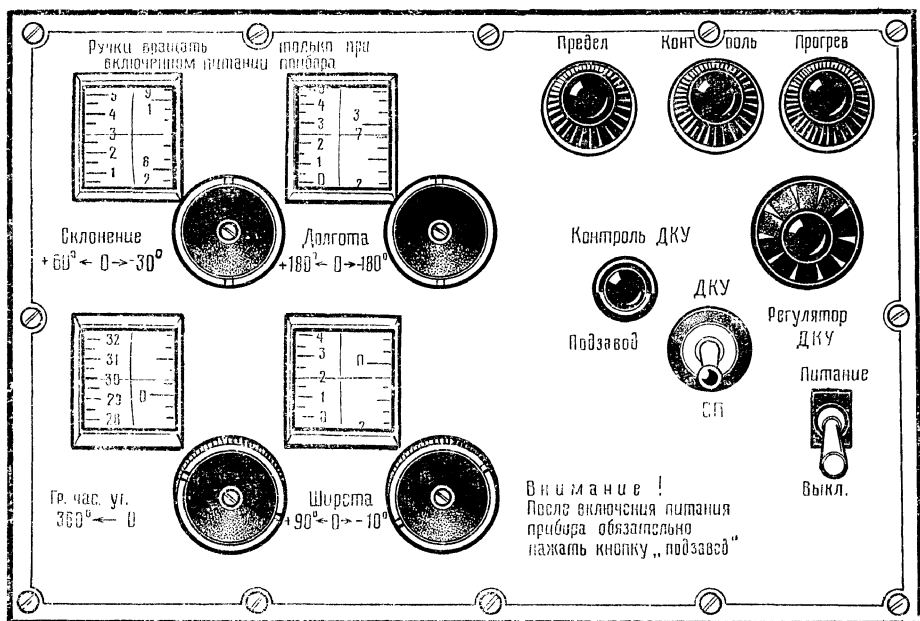


Рис. 5. 3. Вычислитель астрокомпаса ДАК-ДБ-5

установлены держатели предохранителей на 15 и 2А питания астрокомпаса постоянным и переменным током.

Вычислитель предназначен для выработки азимута светила, его высоты и вычисления курса самолета.

Высота светила вырабатывается для определения креновой поправки, величина которой зависит не только от крена самолета, но и от высоты Солнца. Основной частью вычислителя является сферант, воспроизводящий параллактический треугольник небесной сферы. На передней панели вычислителя расположены следующие органы управления и сигнализации (рис. 5.3).

1. Рукоятки для установки склонения светила, гринвичского часового угла, долготы и широты. Отсчет координат производится по шкалам барабанного типа. Десятки градусов отсчитываются по левым шкалам, а единицы градусов и минуты — по правым. Цена одного деления на левых шкалах равна  $5^\circ$ , а на правых —  $10'$ . Оцифровка положительных склонений, восточных долгот и северных широт дана красным цветом, а отрицательных склонений, западных долгот и южных широт — синим.

2. Переключатель рода работы ДКУ-СП, который предназначен для перехода с работы от ДКУ на перископический секстант СП-1М. Когда переключатель стоит в положении ДКУ, то в вычислитель подается курсовой угол Солнца, определенный ДКУ, а когда в положении СП, то измеренный перископическим секстантом. Кроме того, при установке переключателя в положение СП производится отключение схемы выработки креновой поправки.

3. Выключатель «Питание». Предназначен для включения астрокомпаса в бортовую сеть.

4. Кнопка «Контроль ДКУ—Подзавод». При нажатии на эту кнопку включается электромагнит подзавода часов и приводится в действие баланс часов. После запуска часов начинает работать механизм самоподзавода часов. Часовой механизм компенсирует суточное вращение Земли. Он изменяет гринвичский часовой угол светила, установленный на астрокомпасе, в соответствии с течением времени.

С помощью кнопки производится также контроль за работой фотоследящей системы. При нажатой кнопке сигнал от фотоэлементов отключается и одновременно подается сигнал на фотосилнитель, что обеспечивает непрерывное вращение пеленгаторной головки и, следовательно, стрелок указателей курса. После отпускания кнопки, если система в порядке, стрелки возвращаются в прежнее положение.

5. Рукоятка регулятора чувствительности фотоэлементов ДКУ. Поворотом этой рукоятки подбирается оптимальная чувствительность фотоэлементов ДКУ в зависимости от яркости Солнца и погоды.

6. Три сигнальные лампы для контроля работоспособности астрокомпаса. Красная с надписью «Предел» загорается при достижении механизмом вычислителя предельных значений диапазона высот (0—70°) и невозможности дальнейшего определения курса самолета астрокомпасом. Желтая с надписью «Контроль» горит постоянно при непрерывной отработке гринвичского часового угла.

Вторая красная лампа с надписью «Прогрев» загорается при прогреве астрокомпаса в случае, когда температура внутри вычислителя упадет ниже —35°C, и сигнализирует о том, что электродвигатель часового угла выключен, пока не сработает электрообогрев.

Такой случай может быть при включении астрокомпаса в условиях низкой температуры.

Путевой корректор предназначен для счисления пройденного самолетом пути и удержания оси вращения пеленгаторной головки по вертикали начальной точки ортодромии. Для того чтобы выполнить полет по ортодромии с помощью астрокомпаса, необходимо, чтобы азимут и курсовой угол Солнца определялись для начальной точки ортодромии, в которой производилось измерение ортодромического путевого угла.

Для достижения указанного условия на вычислителе устанавливаются координаты начальной точки ортодромии и на протяжении ортодромического участка их не меняют. При такой установке координат азимут Солнца будет вычисляться для начальной точки ортодромии. Но, кроме этого, для выработки астрокомпасом ортодромического курса нужно, чтобы и курсовые углы Солнца измерялись в той же точке, для которой вычисляется азимут Солнца.

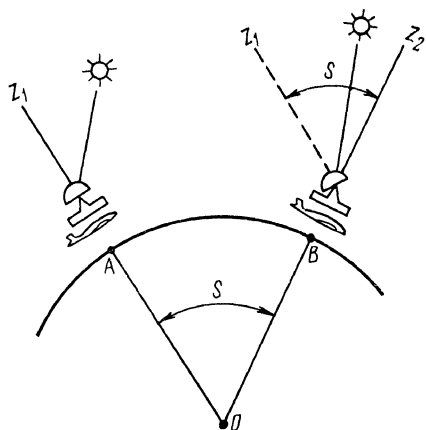


Рис. 5.4. Принцип путевой коррекции

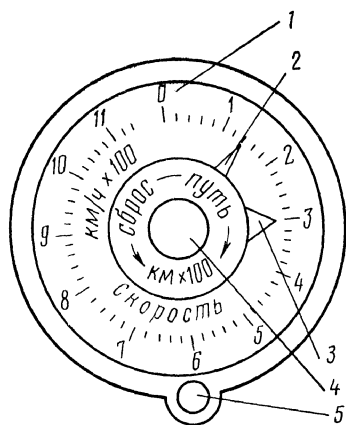


Рис. 5.5. Путевой корректор

Это условие требует учета движения самолета. Для компенсации движения самолета в астрокомпасе применен метод путевой коррекции.

Сущность этого метода состоит в том, что ось вращения пеленгаторной головки ДКУ на всем протяжении ортодромического участка удерживается по вертикали начальной точки ортодромии (рис. 5.4). По мере перемещения по ортодромии ось вращения пеленгаторной головки наклоняется к хвосту самолета на угол, пропорциональный пройденному пути. Наклон оси осуществляется электродвигателем, находящимся в ДКУ, а выработка угла наклона путевым корректором, имеющим ручную установку путевой скорости и связанным через усилитель с ДКУ. При таком методе путевой коррекции ось вращения пеленгаторной головки неизменно удерживается в направлении, параллельном вертикали начальной точки ортодромии, что и соответствует условиям непрерывного пеленгования Солнца в той же начальной точке независимо от движения самолета. Благодаря этому на указатели выдается ортодромический истинный курс относительно истинного (опорного) меридиана начальной точки ортодромии.

Предельный угол наклона оси вращения пеленгаторной головки равен  $10^\circ$ , что соответствует длине ортодромического участка 1100 км. Так как наклон оси осуществляется только назад к хвосту самолета в его продольной плоскости, то при изменении направления полета плоскость наклона оси отклоняется от заданной плоскости компенсации, вследствие чего параллельность оси ее первоначальному положению нарушается. Поэтому при всяком изменении направления полета путевой корректор должен быть установлен в исходное положение для координат и путевого угла начальной точки нового ортодромического участка.



Общий вид путевого корректора показан на рис. 5.5. Шкала 1 путевого корректора имеет оцифровку от 0 до 11. Показания шкалы, умноженные на 100, дают значения скорости в километрах в час и пути в километрах. Скорость отсчитывается против треугольного индекса 3, а путь — против стрелки 2. Установка путевой или истинной воздушной скорости самолета производится с помощью ручки 5, а сброс пройденного самолетом пути на ноль или корректировка значения пройденного пути — с помощью ручки 4.

Указатели курса предназначены для указания курса самолета. В ДАК-ДБ-5 предусмотрена возможность подключения потенциометрического указателя ПДК-49 и сельсинного указателя СУШ-7. При работе астрокомпасов совместно с курсовой системой курс самолета выдается на указатели УШ и УГА-IV, входящие в комплект курсовой системы.

Переходный блок Д-62 применяется при совместной работе ДАК-ДБ-5 с курсовой системой и автопилотом АП-15.

#### 4. ПРОВЕРКА АСТРОКОМПАСА ДАК-ДБ-5 ПЕРЕД ПОЛЕТОМ

Проверка производится в следующем порядке:

1) внешним осмотром убедиться в исправности астрокомпаса и включить АЗС с надписью ДАК;

2) включить питание астрокомпаса, для чего выключатель «Питание» на вычислителе установить в верхнее положение;

3) убедиться, что сигнальная лампа с надписью «Прогрев» погасла и астрокомпас готов к работе;

4) завести и пустить часы, для чего нужно нажать 3—5 раз кнопку «Подзавод»;

5) убедиться, что лампочка с надписью «Контроль» горит, указывая на исправность часового механизма;

6) установить на шкалах вычислителя гринвичский часовой угол и склонение Солнца, долготу и широту места проверки. Часовой угол устанавливается в тот момент времени, которому он соответствует. При вращении установочных рукояток вычислителя стрелки указателей курса должны перемещаться, что является признаком исправности сферанта. Установку координат необходимо производить только при включенном питании астрокомпаса, иначе может произойти заклинивание сферанта.

Если при вращении какой-либо из рукояток загорится сигнальная лампа с надписью «Предел», эту рукоятку поворачивают в обратную сторону до того момента, когда лампа погаснет, и переходят к установке любой другой координаты, а затем возвращаются к установке той координаты, при которой сигнальная лампа загоралась. Подобные действия необходимо производить при каждом загорании лампы с надписью «Предел»;

7) установить на путевом корректоре треугольный индекс «Скорость» и стрелку «Путь» на ноль;

- 8) установить переключатель «ДУ—СП» в положение «ДКУ»;
- 9) регулятор «ДКУ» установить в такое положение, при котором прекратится колебание стрелок указателей курса;
- 10) убедиться в исправной работе астрокомпаса. Если астрокомпас исправен, то при видимости Солнца стрелки указателей курса должны сохранять неизменное положение, указывая истинный курс самолета. При нажатии на кнопку «Контроль ДКУ—Подзавод» стрелки указателей курса должны начать вращаться, а после отпускания ее возвратиться в прежнее положение.

При отсутствии видимости Солнца стрелки указателей курса занимают произвольное положение на шкале. При нажатии на кнопку «Контроль ДКУ—Подзавод» стрелки должны вращаться, а после отпускания ее должны остановиться в любом положении. При исправной работе часового механизма вычислителя лампочка с надписью «Контроль» должна непрерывно гореть. Показание ранее установленного значения гринвичского часового угла должно изменяться за каждую минуту времени на 15';

- 11) проверить работу путевого корректора, для чего установить на приборе значение путевой скорости, равное 600 или 800 км/ч. Через 6 мин стрелка «Путь» должна указать по шкале путь, равный соответственно 60 или 80 км. Убедившись в правильности отработки пути, установить индекс «Скорость» и стрелку «Путь» на нуль.

Для проверки астрокомпаса перед ночным полетом и наличии на самолете секстанта СП-1М необходимо:

- включить астрокомпас и установить на вычислителе склонение и гринвичский часовой угол светила, которое намечено пеленговать секстантом, и координаты места самолета;
- установить переключатель «ДКУ—СП» в положение «СП»; запеленговать секстантом намеченное светило;
- убедиться, что указатели курса указывают истинный курс самолета.

## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСТРОКОМПАСА ДАК-ДБ-5

**Определение истинного курса по Солнцу** с помощью астрокомпаса производится следующим образом:

- включить астрокомпас и нажать 3—5 раз кнопку «Подзавод»;
- установить на шкалах вычислителя координаты Солнца для текущего момента времени и географические координаты места самолета. Включение астрокомпаса и установка координат могут быть произведены на земле перед вылетом или в любой момент полета. Координаты Солнца берутся из Авиационного астрономического ежегодника или определяются упрощенным способом по таблице и графику, данным в приложении 13;
- установить переключатель «ДКУ—СП» в положение «ДКУ»; регулятором ДКУ подобрать оптимальный режим работы пеленгаторной системы;

установить на путевом корректоре индекс «Скорость» и стрелку «Путь» на нуль;

отсчитать истинный курс самолета по указателю.

Следует иметь в виду, что отсчитанный курс является истинным курсом относительно меридиана места самолета, координаты которого установлены на вычислителе, при условии, что координаты действительного места самолета совпадают с теми, которые введены в астрокомпас, или когда удаление самолета от места, соответствующего введенным координатам, не превышает 30—50 км. Поэтому, если требуется определить истинный курс через некоторое время полета относительно текущего меридиана, то необходимо на вычислителе установить координаты нового места самолета.

Для уменьшения ошибок необходимо истинный курс определять в режиме прямолинейного горизонтального полета или в режиме равномерного набора высоты или снижения. Любые ускорения влияют на маятниковый кренокорректор и приводят к ошибкам в определении курса с помощью астрокомпаса. Для вывода самолета на заданный истинный курс по ДАК-ДБ-5 необходимо разворотом самолета добиться, чтобы стрелка указателя установилась на значение заданного курса.

Выдерживание заданного курса производят по ГПК или по курсовой системе, корректируемых периодически по астрокомпасу.

**Определение истинного курса по Луне, планетам и звездам.** В ночных условиях фотоследящая система астрокомпаса ДАК-ДБ-5 не в состоянии автоматически производить пеленгование Луны, планет и звезд ввиду того, что эти светила по яркости гораздо слабее Солнца. Поэтому ночью истинный курс с помощью астрокомпаса ДАК-ДБ-5 можно определять только при наличии на самолете перископического секстанта СП-1М, позволяющего производить измерение курсовых углов небесных светил.

Порядок работы при определении истинного курса в ночном полете следующий:

включить астрокомпас и перископический секстант СП-1М; кнопкой «Подзавод» завести часы астрокомпаса и установить на шкалах вычислителя координаты выбранного для пеленгования светила соответственно текущему моменту времени и географические координаты места самолета;

установить переключатель «ДКУ—СП» в положение «СП»; запеленговать перископическим секстантом СП-1М светило, координаты которого установлены на вычислителе;

отсчитать по указателю истинный курс, который соответствует моменту пеленгования светила.

**Определение ортодромического курса при полете по ортодромии.** Полет по ортодромии с помощью ДАК-ДБ-5 можно выполнить только при включенном путевом корректоре. Для определения ортодромического истинного курса с помощью ДАК-ДБ-5 необходимо:

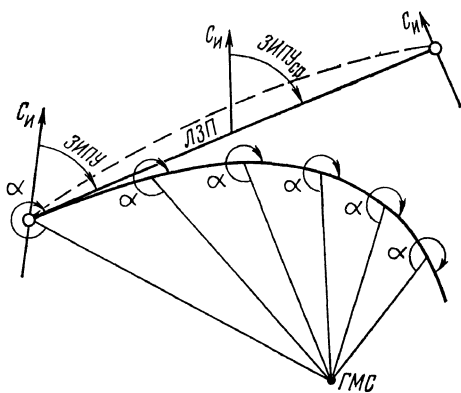


Рис. 5.6. Астрономическая локсодромия

значение путевой скорости, а стрелку «Путь» на нуль;

для следования по ЛЗП развернуть самолет по указателю астрокомпаса на ортодромический истинный курс, равный  $ОИК = ОЗИПУ - (\pm УС)$ ;

периодически уточнять угол сноса, путевую скорость и пройденное расстояние от начальной точки ортодромии и в соответствии с полученными данными исправлять курс, «Путь» и «Скорость» на путевом корректоре.

При выходе в точку, от которой начинается новый ортодромический участок, необходимо установить на вычислителе широту и долготу этой точки, на путевом корректоре сбросить на нуль показание стрелки «Путь», установить значение путевой скорости, соответствующее новому участку маршрута, и развернуть самолет на ортодромический истинный курс для полета по ортодромии следующего участка маршрута. После выполнения указанных действий астрокомпас будет выдавать ОИК относительно истинного опорного меридиана, проходящего через начало нового ортодромического участка, а путевой корректор будет вести счисление пройденного пути от новой точки, координаты которой установлены на вычислителе, и обеспечивать удержание оси вращения пеленгаторной головки ДКУ в направлении, параллельном ее положению в момент прохода начала нового ортодромического участка.

**Применение системы средних меридианов.** В отличие от других курсовых приборов астрокомпас ДАК-ДБ-5 имеет некоторые особенности его использования. В случае работы астрокомпас с выключенным путевым корректором астрокомпас выдает истинный курс самолета относительно меридиана, долгота которого установлена на вычислителе. Этот курс будет определяться точно только в тот момент, когда самолет будет находиться над местом, координаты которого введены в астрокомпас. Поэтому, если выдерживать по астрокомпасу постоянный курс при неиз-

включить астрокомпас и завести его часы;

перед вылетом при включенном питании астрокомпас или в полете установить склонение Солнца и гринвичский часовой угол для текущего момента времени, широту и долготу ИПМ или другой точки, от которой начинается полет по ортодромии;

включить астрокомпас на работу с ДКУ;

установить над начальной точкой ортодромического участка на путевом корректоре расчетное или измеренное значение

менной установке географических координат, путь самолета будет представлять кривую, постепенно отклоняющуюся в сторону Солнца. Эту линию пути самолета принято называть астрономической локсодромией (рис. 5.6).

Полюсом астрономической локсодромии является географическое место светила. Если от этого полюса провести линии и принять их условно за меридианы, то астрономическая локсодромия будет пересекать их под одним и тем же углом  $\alpha$ . Этим астрономическая локсодромия отличается от географической. Форма астрономической локсодромии зависит от высоты светила, его положения относительно ЛЗП и установленных географических координат на вычислителе астрокомпаса.

Как видно из рис. 5.6, астрономическая локсодромия при установке на астрокомпасе географических координат начальной точки участка маршрута и следовании с курсом, рассчитанным для ЗИПУ, измеренного в этой же точке, постепенно удаляется от ЛЗП. Уклонение от ЛЗП непрерывно увеличивается, и самолет в этом случае в конечную точку участка маршрута не выходит.

Если на астрокомпасе установить координаты конечной точки участка маршрута и следовать с постоянным курсом, рассчитанным для ЗИПУ в этой точке, астрономическая локсодромия вначале будет резко отклоняться в противоположную сторону от направления на Солнце, а затем к концу участка маршрута идти параллельно линии заданного пути. Таким образом, при установке на астрокомпасе координат начальной или конечной точек участка маршрута астрономическая локсодромия значительно отклоняется от ЛЗП и самолет в этих случаях на конечную точку участка маршрута не выходит. Поэтому для использования астрокомпаса ДАК-ДБ-5 при выключенной автоматической компенсации перемещения самолета применяют систему средних меридианов.

Сущность этой системы состоит в следующем. Маршрут полета делится на ряд участков, длина которых зависит от высоты Солнца. При высоте Солнца до  $10^\circ$  длину участков можно брать до 1200 км, при высоте  $10-30^\circ$  — до 700 км, при высоте  $30-50^\circ$  — до 500 км и при высоте  $50-70^\circ$  — до 300 км. Для каждого участка намечают средние точки, а затем определяют географические координаты этих точек и замеряют средние ЗИПУ. Полет на каждом участке выполняют по астрокомпасу с установкой широты и долготы средней точки и постоянным курсом, рассчитанным по среднему ЗИПУ и углу сноса. В этом случае отклонение астрономической локсодромии от ЛЗП будет незначительным и она пройдет через конечную точку участка маршрута.

При указанной выше длине участков маршрута величина бокового уклонения от ЛЗП за счет искривления астрономической локсодромии не будет превышать 5 км.

Применение системы средних меридианов обеспечивает наименьшее отклонение траектории полета самолета от линии

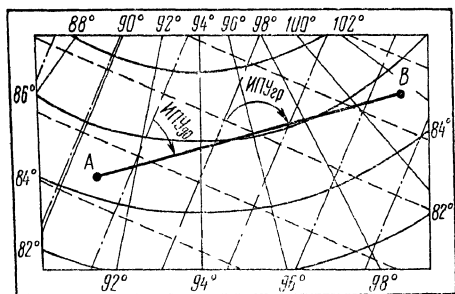


Рис. 5.7. Применение системы условных меридианов

заданного пути, вывод его в конечную точку участка маршрута, а также позволяет увеличить допустимую дальность полета с постоянными географическими координатами.

**Применение системы условных меридианов.** Система условных меридианов применяется при использовании астрокомпасов ДАК-ДБ-5 и других курсовых приборов в высоких широтах.

Условными называются меридианы, направление которых совпадает с направлением гринвичского меридиана или меридиана  $90^\circ$  восточной долготы (рис. 5.7). Такие меридианы наносятся на полетные и бортовые карты Арктики и Антарктики при их издании. Меридианы, параллельные меридиану Гринвича, наносятся красным цветом, а меридианы, параллельные меридиану  $90^\circ$  — синим цветом. Система условных меридианов для самолетовождения была разработана в 1937 г. ныне заслуженным штурманом СССР В. И. Аккуратовым, который участвовал в высадке на дрейфующую льдину первой в мире высокоширотной экспедиции И. Д. Папанова. Применение системы условных меридианов при использовании астрокомпасов ДАК-ДБ-5 заключается в следующем. Путевые углы участков маршрута измеряются относительно выбранного условного меридиана. На астрокомпасе устанавливаются координаты Солнца, широта начальной точки ортодромии и долгота выбранного условного меридиана. Включается в работу путевой корректор.

Для следования по ЛЗП по астрокомпасу выдерживается курс, равный условному ИПУ, с учетом угла сноса. Применение системы условных меридианов вызывает ошибку в выработке курса астрокомпасом. Величину этой ошибки можно определить по формуле

$$\Delta ИК = \Delta \lambda \operatorname{ctg}(\varphi - \delta) \cos \varphi.$$

Из формулы видно, что для того, чтобы ошибка в курсе была меньше, необходимо условный меридиан выбирать с таким расчетом, чтобы долгота условного меридиана ближе совпадала с долготой среднего меридиана района полетов, т. е. чтобы разность долгот была как можно меньше. При разности долгот  $\Delta \lambda = 20^\circ$  и склонении Солнца  $\delta = +23^\circ$  на широте  $\varphi = 80^\circ$  применение условных меридианов приводит к ошибке в определении курса  $2^\circ$ . Вследствие того, что с уменьшением широты эта ошибка увеличивается, систему условных меридианов применяют только в высоких широтах.

## 6. АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КОМПАС АК-53П

Астрономический компас с поляризационной приставкой АК-53П предназначен для определения истинного курса самолета по небесным светилам днем, ночью и в сумерки. Пеленгование светил с помощью этого астрокомпаса производится вручную. АК-53П построен в экваториальной системе небесных координат. Поэтому при пеленговании небесных светил ось вращения визирной системы совмещается с осью мира, а сама визирная система — с кругом склонения данного светила. Астрокомпас выполнен в виде пространственной модели небесной сферы, которая является построителем направления, совпадающего с истинным меридианом данной точки.

*Астрокомпас АК-53П имеет следующие технические данные:*

Рабочий диапазон широт . . . . .	$0 \div \pm 90^\circ$
» » долгот . . . . .	$0 \div \pm 180^\circ$
Диапазон склонения светил . . . . .	$0 \div \pm 64^\circ$
Время работы часового механизма при полном за- воде . . . . .	не менее 5 сут.

*Точность определения курса:*

с помощью солнечной и звездной визирных систем . . . . .	$\pm 2^\circ$
с помощью поляризационной визирной системы . . . . .	$\pm 3^\circ$
Питание (обогрев часов) . . . . .	постоянным током напряжением $27В \pm 10\%$

**Устройство астрокомпаса АК-53П.** Общий вид астрокомпаса АК-53П показан на рис. 5.8. Астрокомпас имеет три визирные системы: солнечную (нижнюю), предназначенную для пеленгования Солнца; звездную (верхнюю), предназначенную для пеленгования Луны, звезд и планет; поляризационную, вмонтированную в звездную, которая используется для определения направления на Солнце в сумерки или когда оно закрыто облаками или деталями самолета.

Все три визирные системы собраны на общем основании 1, с помощью которого астрокомпас крепится в специальном установочном кольце 2 в кабине самолета. На основании имеются: зажимный винт 3 для крепления астрокомпаса в установочном кольце, два уровня 4 и два винта для установки в горизонтальное положение курсового лимба 5, воспроизводящего в астрокомпасе плоскость истинного горизонта. На курсовом лимбе нанесена шкала с делениями от 0 до  $360^\circ$ , по которой производится отсчет истинного курса против курсовой черты с надписью «Курс». Положение курсового лимба может быть застопорено фиксатором 25. К курсовому лимбу прикреплены две стойки 7, которые удерживают все визирные системы.

Солнечная визирная система закрыта прозрачным цилиндрическим колпаком 11. Основной частью этой системы является

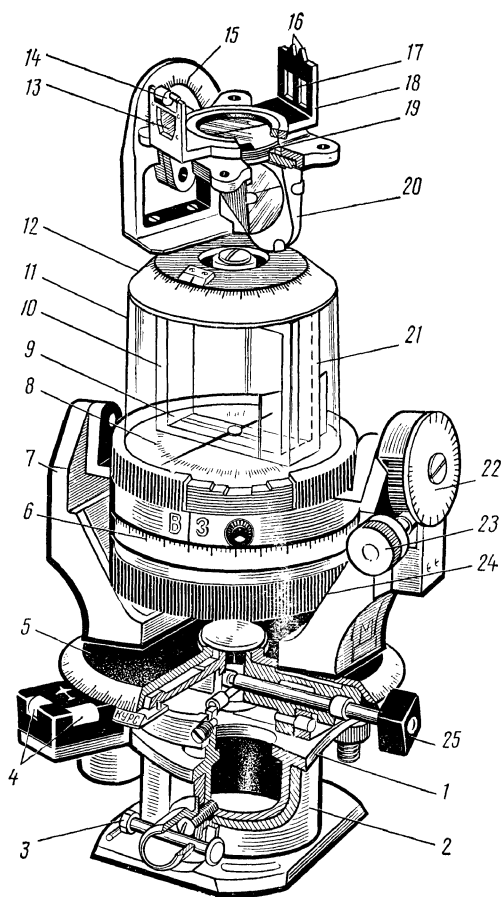


Рис. 5.8. Астрокомпас АК-53П:

1 — основание; 2 — установочное кольцо; 3 — зажимный винт; 4 — уровни; 5 — курсовой лимб; 6 — шкала долгот; 7 — стойка; 8 — шкала гринвичских часовых углов; 9 и 18 — визирная рамка; 10 — цилиндрическая линза; 11 — прозрачный колпак; 12 — шкала гринвичских часовых углов; 13 — уровни; 14 — линза; 15 — шкала склонений; 16 — риски; 17 — средняя планка; 19 — анализатор; 20 — призма; 21 — экран; 22 — шкала широт; 23 — рукоятка установки широты; 24 — заводной ранти; 25 — фиксатор

часовой угол, то в дальнейшем он непрерывно будет отрабатываться часовым механизмом в соответствии с течением времени.

На корпусе часового механизма нанесена шкала долгот 6, имеющая оцифровку от 0 до 180° в обе стороны. Для восточных долгот шкала имеет белую окраску, а для западных — красную. Заданная долгота устанавливается против индекса, обозначенного буквами ВЗ, и закрепляется зажимным винтом, находящимся около этого индекса. При установке долготы происходит ме-

визирная рамка 9. Одна сторона рамки выполнена в виде цилиндрической линзы 10, а другая — в виде полупрозрачного экрана 21, на котором нанесены две параллельные линии. При пеленговании Солнца цилиндрическая линза проектирует на экран его лучи в виде яркой световой полосы. Разворотом астрокомпаса можно добиться, чтобы эта световая полоса наблюдалась между параллельными линиями экрана. Высота визирной рамки обеспечивает пеленгование Солнца при любом его склонении. Визирная рамка вращается часовым механизмом. Она закреплена на его часовой оси и делает один оборот за 24 ч среднего солнечного времени.

Завод часов осуществляется вращением заводного ранта 24 по ходу часовой стрелки, если смотреть на астрокомпас снизу. Работа часового механизма контролируется по движению секундной стрелки. На корпусе часового механизма укреплен шкала гринвичских часовых углов 8. Если по этой шкале установить визирную рамку на рассчитанный для данного момента гринвичский



ханическое решение формулы местного часового угла  $t_m = t_{rp} \pm \lambda_a$  и разворот визирной системы на этот угол.

Для подключения обогрева часового механизма на его корпусе имеются две клеммы. Включение обогрева производится с помощью переключателя при температуре воздуха ниже  $-20^\circ$ .

На одной из стоек 7 смонтирован механизм широты, который предназначен для установки на астрокомпасе широты места самолета, благодаря чему ось вращения визирных систем совмещается с осью мира, а шкала гринвичских часовых углов — с плоскостью небесного экватора. Механизм установки широты состоит из рукоятки установки широты 23 со шкалой единиц градусов от 0 до 10 и трех шкал десятков градусов 22, имеющих деления от 0 до 90. Средняя (белая) шкала применяется при полетах в Северном полушарии, красная (правая) — при полетах в Южном полушарии для пеленгования Солнца нижней визирной системой и левая (красная) — при полетах в Южном полушарии для пеленгования звезд верхней визирной системой.

Верхняя визирная система имеет визирную рамку 18, состоящую из средней планки 17 и полупрозрачного экрана 13 с двумя параллельными линиями. Планкой и этими линиями пользуются при пеленговании Луны, а также Солнца при отказе часового механизма. Пеленгование звезд и планет осуществляется через линзу 14 и прорезь визирной рамки, у которой нанесены риски 16, покрытые светящейся массой. Склонение светил устанавливается по шкале 15, нанесенной на верхней части стойки. Знаки склонения для северных широт нанесены белым цветом, а для южных — красным. Шкала гринвичских часовых углов 12 верхней визирной системы имеет двойную оцифровку. Белая оцифровка служит для установки часовых углов при полетах в Северном полушарии, а красная — в Южном. В астрокомпасе АК-53П, кроме обычных визирных систем, имеется поляризационная визирная система, которая состоит из анализатора 19 и призмы 20.

Верхние визирные системы не связаны с часовым механизмом, поэтому при пользовании ими необходимо каждый раз устанавливать не только широту и долготу места самолета, но и соответствующий данному моменту времени гринвичский часовой угол светила.

## 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСТРОКОМПАСА АК-53П

**Определение истинного курса по Солнцу.** Для определения истинного курса самолета с помощью АК-53П по Солнцу необходимо:

перед полетом произвести внешний осмотр астрокомпаса и убедиться в его исправности;

завести часовой механизм астрокомпаса, для чего предварительно наклонить нижнюю визирную систему рукояткой установ-

ки широты в положение, удобное для его завода, а затем вращением заводного ранта по ходу часовой стрелки завести механизм;

для любого намеченного наперед момента времени рассчитать гринвичский часовой угол Солнца;

в намеченный момент времени установить солнечную визирную систему на рассчитанный гринвичский часовой угол. Для этого необходимо прижать заводной рант к корпусу часового механизма и, вращая его, установить индекс против рассчитанного значения часового угла. При выполнении данной установки визирную рамку следует вращать в направлении движения секундной стрелки часового механизма. Чтобы этого добиться, нужно заводной рант вращать против хода часовой стрелки;

в полете установить астрокомпас по уровням;

снять с полетной карты широту и долготу места самолета и установить их на соответствующих шкалах астрокомпаса. Установку долготы закрепить винтом;

отстопорить курсовой лимб и разворотом астрокомпаса добиться, чтобы яркая световая полоса расположилась между параллельными линиями экрана;

застопорить курсовой лимб и против курсовой черты с надписью «Курс» отсчитать истинный курс самолета.

**Определение истинного курса самолета ночью.** При определении истинного курса самолета по астрокомпасу АК-53П ночью используется верхняя визирная система, предназначенная для пеленгования звезд, планет и Луны. Ввиду того, что верхняя визирная система не имеет связи с часовым механизмом, установка гринвичского часового угла должна производиться при каждом определении истинного курса. В ночном полете порядок работы с астрокомпасом следующий:

рассчитать для намеченного момента времени гринвичский часовой угол светила, выбранного для определения истинного курса;

перед полетом в намеченный момент времени установить рассчитанный гринвичский часовой угол на нижней визирной системе. Установленный часовой угол в дальнейшем будет изменяться часовым механизмом, и поэтому в полете его не нужно будет вычислять. Однако следует помнить, что скорость изменения часового угла Луны непропорциональна изменению времени. Поэтому при пользовании Луной нужно через каждые 1,5—2 ч уточнять значение часового угла, указываемого нижней визирной системой;

в момент определения истинного курса установить астрокомпас по уровням;

установить широту и долготу места самолета на шкалах прибора. Отсчитать гринвичский часовой угол на нижней визирной системе и установить его на верхней визирной системе;

установить склонение светила на шкале склонений;

разворачивать курсовой лимб до тех пор, пока намеченное светило не будет запеленовано. Луна пеленгуется по тени на экране, отбрасываемой средней планкой, а звезды и планеты через

линзу и прорезь визирной рамки, при этом они должны наблюдаться на воображаемом пересечении рисок;

застопорить курсовой лимб и отсчитать истинный курс самолета.

**Определение истинного курса в сумерки.** Для определения истинного курса в сумерки, если высота Солнца до  $-6^\circ$ , используется поляризационная визирная система астрокомпаса АК-53П. Кроме того, с помощью этой системы можно определять курс самолета, когда Солнце закрыто облаками или частями самолета, при условии, что другие участки неба открыты. Поляризационная визирная система значительно расширяет возможности применения астрокомпаса. Особенно важное значение эта система имеет при полетах в полярных районах, где продолжительность сумерек достигает нескольких суток.

Принцип определения направления на Солнце с помощью поляризационной визирной системы основан на использовании явления поляризации солнечного света при прохождении через атмосферу. Сущность этого принципа состоит в следующем.

Известно, что солнечный свет представляет собой электромагнитные волны, воспринимаемые органами зрения. Установлено, что электромагнитные колебания световой волны происходят таким образом, что векторы напряженности электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей расположены перпендикулярно направлению распространения световой волны. Условились плоскость, проходящую через направление световой волны и направление вектора  $H$ , называть плоскостью поляризации света.

Солнечный свет состоит из совокупности излучений отдельных атомов Солнца. Каждый атом излучает световые волны с различной ориентацией векторов  $E$  и  $H$ , причем плоскости колебания их хаотически изменяются с большой частотой. Свет, состоящий из таких волн, называется естественным, или неполяризованным. Достигая земной атмосферы, солнечный свет рассеивается молекулами воздуха во всех направлениях и одновременно частично поляризуется. Поляризованный свет в отличие от неполяризованного имеет определенное направление векторов  $E$  и  $H$ . Благодаря влиянию атмосферы рассеянный солнечный свет поляризуется так, что направление вектора магнитной напряженности  $H$  совпадает с направлением на Солнце, а вектор электрической напряженности  $E$  становится перпендикулярным к направлению на Солнце.

Если каким-либо образом определить направление вектора  $H$ , т. е. направление плоскости поляризации рассеянного солнечного света, то это будет равносильно определению направления на Солнце, которое может непосредственно и не наблюдаться.

Глаз человека не может отличить поляризованный свет от неполяризованного. Поэтому для определения направления плоскости поляризации света применяют специальные светофильтры, которые носят название поляроидов. Поляроид представляет собой целлулоидную пленку, покрытую одинаково ориентированны-

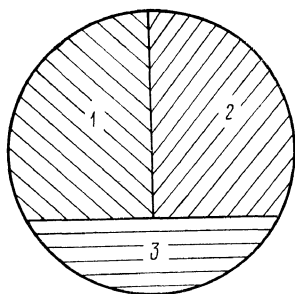


Рис. 5.9. Анализатор компаса АК-53П

ми кристаллами некоторых веществ, обладающих свойством полностью пропускать только те световые волны, плоскость поляризации которых совпадает с плоскостью поляризации поляроида.

Если поляроид используется для получения поляризованного света, его называют поляризатором, а если для обнаружения поляризованного света — анализатором.

Для определения положения плоскости поляризации рассеянного солнечного света анализатор помещают на пути распространения света и путем вращения относительно оси, перпендикулярной к его плоскости, добиваются наибольшей его яркости. В этот момент нетрудно указать направление плоскости поляризации света, а следовательно, и направление на Солнце, зная, в какой плоскости данный анализатор полностью пропускает свет. Однако этот метод имеет существенный недостаток, обусловленный тем, что глаз человека не в состоянии определить момент максимальной яркости анализатора, что приводит к ошибке в определении направления на Солнце до  $10\text{--}15^\circ$ . Поэтому в астрокомпасе АК-53П направление плоскости поляризации определяется при помощи анализатора, состоящего из трех полей.

Плоскости поляризации полей 1 и 2 (рис. 5.9) расположены под углом  $90^\circ$  относительно друг друга, а плоскость поляризации поля 3 — под углом  $45^\circ$  относительно первых двух. При вращении такого анализатора поля 1 и 2 будут изменять свою яркость. В момент их одинаковой яркости плоскости поляризации поляроидов будут составлять с направлением вектора  $H$  равные углы. При этом линия соединения полей 1 и 2 будет совпадать с направлением вектора  $H$  и, следовательно, показывать направление на Солнце. При вращении анализатора на  $360^\circ$  поля 1 и 2 будут иметь одинаковую яркость четыре раза. Это приводит к тому, что направление на Солнце может быть определено с ошибкой либо на  $90^\circ$  в ту или другую сторону, либо на  $180^\circ$ .

Для устранения этого недостатка в анализаторе имеется третье поле, которое при равенстве яркостей полей 1 и 2 будет два раза темным и два раза светлым. Направление на Солнце следует определять при одинаковой яркости полей 1 и 2 и темном поле 3, что исключает неопределенность на  $90^\circ$ . При такой освещенности полей визирная система астрокомпаса будет направлена на Солнце либо от Солнца. Неопределенность на  $180^\circ$  устраняется путем приближенного определения на глаз направления на Солнце по светлой части горизонта.

Наблюдают за полями анализатора через призму, которую можно устанавливать в любое положение вращением ее вокруг оси. Линия наблюдения должна быть перпендикулярной к призме.

Для определения истинного курса в сумерки с помощью поляризационной визирной системы необходимо:

установить астрокомпас по уровням;

установить на шкалах широту и долготу места самолета;

установить на верхней визирной системе гринвичский часовой угол и склонение Солнца для текущего момента времени;

для исключения ошибки в определении курса на  $180^\circ$  развернуть астрокомпас так, чтобы рамка с прорезью была примерно направлена в сторону Солнца;

точно определить направление на Солнце по плоскости поляризации рассеянного атмосферой солнечного света, для чего разворотом компаса добиться одинаковой яркости полей анализатора 1 и 2 при темном третьем поле;

отсчитать истинный курс самолета. Если участок неба, в который направлен анализатор, закрыт облаками или деталями самолета, то изменением установки склонения анализатор необходимо направить в открытый участок неба. Но при этом следует иметь в виду, что точность определения курса уменьшается.

**Вывод самолета на заданный истинный курс следования** с помощью астрокомпаса АК-53П производится следующим образом:

устанавливают астрокомпас по уровням;

рассчитывают и устанавливают на астрокомпасе координаты светила для заданного момента времени и координаты места самолета;

отстопоривают курсовой лимб и устанавливают против курсовой черты заданный истинный курс, после чего курсовой лимб застопоривают;

разворачивают самолет до тех пор, пока светило, выбранное для работы, не будет запеленговано одной из визирных систем астрокомпаса. Этим самым самолет будет установлен на заданный курс следования.

Астрокомпас АК-53П не позволяет выдерживать заданный курс, что является его существенным недостатком. Поэтому выдерживание заданного курса производится по ГПК или КС с периодической проверкой его по астрокомпасу с учетом изменения координат места самолета.

## **8. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОКОМПАСОВ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ**

При полетах в Южном полушарии следует учитывать, что видимое суточное движение небесных светил имеет противоположное направление в сравнении с Северным полушарием. Это явление требует, чтобы вращение плоскости пеленгации относительно оси мира, осуществляемое часовым механизмом с целью компенсации вращения Земли, происходило в соответствии с видимым движением небесных светил. Поэтому в Южном полушарии используются всеширотные астрокомпасы АК-59П и ДАК-ДБ-5В.

Эти астрокомпасы имеют специальные переключатели, предназначенные для изменения направления вращения оси часовых углов светил.

В АК-59П ручка переключателя направления вращения солнечной визирной системы расположена в нижней части корпуса часового механизма. В Южном полушарии эта ручка должна быть выдвинута до появления оранжевого пояса на ее оси. Шкалы гринвичских часовых углов, курса и долготы выполнены двойными — белые для Северного полушария и оранжевые для Южного. Таким же цветом обозначены знаки для установки склонения светил. Широта места устанавливается на одной и той же шкале как в Северном, так и в Южном полушарии.

В астрокомпасе ДАК-ДБ-5В для обеспечения правильной работы астрокомпаса в обоих полушариях имеется переключатель «Север—Юг», расположенный на вычислителе.

Астрокомпас АК-53П не имеет переключающего устройства. Поэтому при полетах в Южном полушарии его солнечная визирная система переворачивается вместе с часовым механизмом. Делают это путем установки широты по шкале, предназначенной для пеленгования Солнца в Южном полушарии. При значениях широты, превышающих  $21^\circ$ , пеленгование Солнца производят при снятом колпаке, пеленгование звезд, планет и Луны по верхней визирной системе. Широту, часовой угол и склонения светил в этом случае устанавливают на соответствующих шкалах, имеющих красную окраску.

В остальном астрокомпасы в Южном полушарии используются так же, как в Северном.

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕКСТАНТОВ

## 1. СЕКСТАНТ ИМС-3

Современные астрономические средства самолетовождения делятся на средства определения курса и средства определения линий положения и места самолета. Средства первой группы были рассмотрены в предыдущей главе. К средствам второй группы относятся секстанты и звездно-солнечные ориентаторы (ЗСО).

Секстанты — это угломерные оптические приборы, предназначенные для измерения высот небесных светил, по которым вычисляют линии положения и определяют место самолета. Звездно-солнечные ориентаторы являются автоматическими устройствами, которые посредством одновременной пеленгации двух небесных светил непрерывно определяют место и курс самолета.

Интегрирующий морской секстант ИМС-3 предназначен для измерения высот небесных светил. Несмотря на то, что это секстант морской, его в последнее время стали применять на самолетах гражданской авиации более широко, чем аналогичный авиационный секстант ИАС-1М. Секстант ИМС-3 является ручным угломерным прибором с пузырьковой вертикалью и интегрирующим осредняющим механизмом для автоматического осреднения измеряемой высоты светила. Он позволяет производить измерения высот светил как днем, так и ночью.

Принцип измерения высоты светила секстантом основан на определении угла между плоскостью искусственного горизонта и направлением на светило (рис. 6.1). Для этой цели секстант имеет сферический уровень 7, который позволяет выдерживать вертикаль, а следовательно, и определять плоскость искусственного горизонта, и угломерное устройство, соединенное с плоско-параллельной пластинкой (главным зеркалом) 4.

Лучи света, проходя через уровень, попадают на пятигранную призму 6. Преломившись в ней, лучи выходят через объектив 5 и, пройдя через полупрозрачную стеклянную плоско-параллельную пластинку 4, попадают в глаз наблюдателя. Лучи света от светила, отражаясь от плоско-параллельной пластинки, также попадают

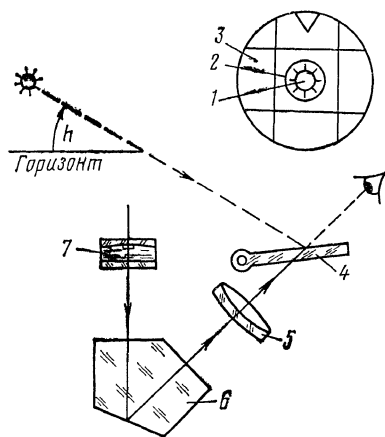


Рис. 6.1. Принцип измерения высоты светила секстантом:

1 — изображение Солнца; 2 — изображение пузырька уровня; 3 — поле зрения секстанта; 4 — плоско-параллельная пластинка (главное зеркало); 5 — объектив; 6 — пятигранная призма; 7 — уровень

в глаз наблюдателя. Таким образом, глаз наблюдателя одновременно видит в поле зрения секстанта изображение пузырька уровня 2 и изображение светила 1. Эти изображения можно совместить при помощи поворота плоско-параллельной пластинки. Поворот пластинки производят посредством угломерного барабана, по шкале которого отсчитывают измеренную высоту светила.

### Комплект секстанта ИМС-3

включает: секстант; ящик для хранения секстанта, инструмента и запасных частей; трансформатор 127В (220В) на 2,5В, аккумулятор на 2,6В; трос для подвески секстанта; упор с амортизатором для установки секстанта при измерениях; шнур с вилками; окулярную насадку; светофильтры в круглой оправе;

запасные части; инструменты и принадлежности. Трос и упор применяются при использовании секстанта на морских судах.

#### Основные технические данные секстанта ИМС-3:

Диапазон измерения высот светил . . . . .	0 ÷ +80°
Угол поля зрения . . . . .	7°30'
Продолжительность работы часового механизма осреднителя . . . . .	40, 120 и 200 с
Пределы осреднения измеряемой высоты светила . . . . .	± 2°30'
Точность измерения высоты светила . . . . .	± 1—2'
Напряжение электролампочек . . . . .	2,5 В
Масса секстанта . . . . .	2,85 кг
» комплекта . . . . .	12 кг

## 2. УСТРОЙСТВО СЕКСТАНТА ИМС-3

Секстант ИМС-3 состоит из следующих основных частей: корпуса, на котором расположены все органы управления секстантом; оптической системы; угломерного устройства; осредняющего механизма; уровня и системы освещения. Корпус секстанта состоит из двух металлических пластин, между которыми помещена оптическая система. Направление лучей света в оптической системе показано на рис. 6.2.

При дневных измерениях лучи света, пройдя через цветные светофильтры 1 и 2 или через матовый рассеиватель 3, попадают на объектив 4, который направляет их на трехгранную призму 13. Эта призма преломляет лучи и направляет их на уровень 12, на верхней линзе которого нанесена сетка, состоящая из двух



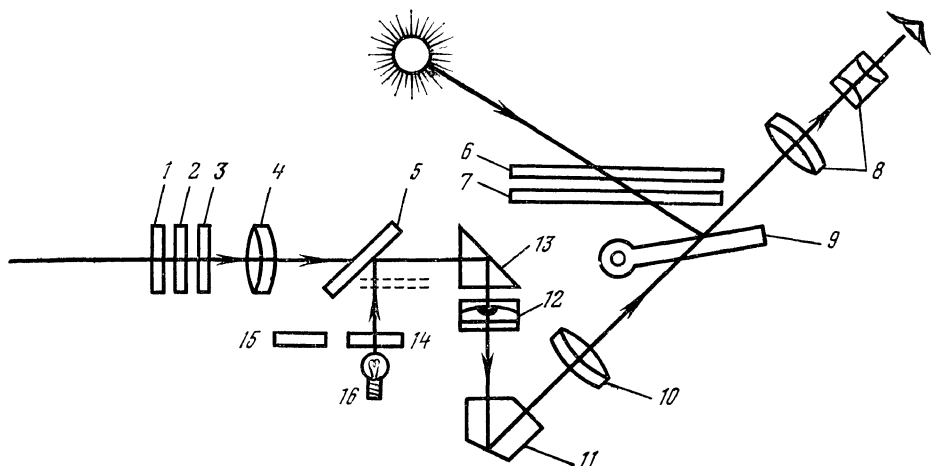


Рис. 6.2. Оптическая система секстанта ИМС-3:

1, 2, 6 и 7 — цветные светофильтры; 3 — матовый рассеиватель; 4 и 10 — объективы; 5 — вращающееся зеркало для ночной подсветки уровня; 8 — окулярная насадка; 9 — плоско-параллельная пластинка (главное зеркало); 11 — пятигранная призма; 12 — уровень; 13 — трехгранная призма; 14, 15 — светофильтры ночной подсветки уровня; 16 — лампочка подсветки уровня

вертикальных и двух горизонтальных линий. Эти линии образуют в центральной части поля зрения квадрат, в пределах которого следует удерживать изображения пузырька уровня и светила при измерениях. Лучи, несущие изображение сетки и пузырька уровня, попадают дальше на пятигранную призму 11, которая изменяет их направление. Затем они проходят через объектив 10, плоско-параллельную пластинку 9 и окулярную насадку 8 и попадают в глаз наблюдателя.

Окулярная насадка представляет собой наблюдательную трубку с увеличением изображения в 2,2 раза. Она может регулироваться по глазу наблюдателя и позволяет лучше вести наблюдение светил и более точно добиваться совмещения изображений светила и пузырька уровня при измерениях.

Наблюдая через окулярную трубку, легко заметить незначительные несовпадения изображений уровня и светила.

Плоско-параллельная пластинка, пропуская лучи, идущие от объектива 10, одновременно отражает лучи, идущие от светила, и направляет их в глаз наблюдателя. Для защиты глаза от яркого солнечного света на пути лучей устанавливают один или два цветных светофильтра 6 и 7.

Оптическая система секстанта построена таким образом, что в глаз наблюдателя одновременно попадают лучи, несущие изображение уровня и светила, в результате чего получается наложение этих изображений.

При ночных измерениях вращающееся зеркало для ночной подсветки уровня 5 ставят в рабочее положение и включают лампочку подсветки уровня 16. В этом случае лучи света, идущие от

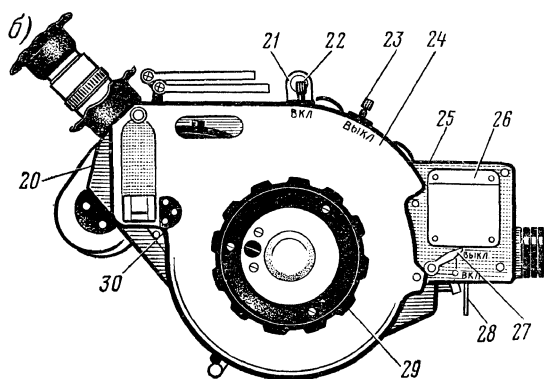
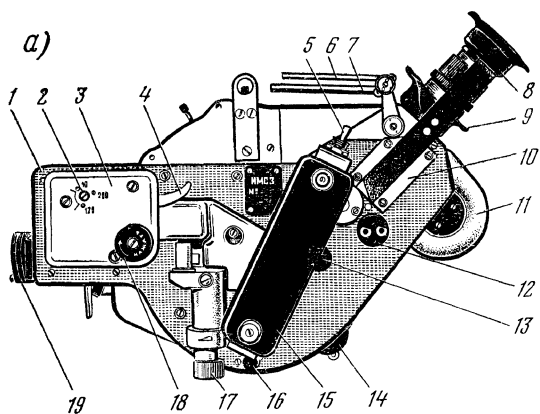


Рис. 6.3. Ручной секстант ИМС-3:

*a* — вид слева:

1 — металлическая пластина; 2 — винт для переключения интервала времени работы часового механизма; 3 — часовой механизм; 4 — пусковой рычаг часового механизма; 5 — общий выключатель; 6, 7 — цветные светофильтры; 8 — окулярная насадка; 9 — наглазник; 10 — направляющая для окулярной насадки; 11 — предохранительные упоры; 12 — штепсельная розетка; 13 — реостат регулировки яркости подсветки уровня; 14 — механизм медленного вращения угломерного барабана; 15 — ручка; 16 — кнопка для фиксации секстанта на упоре; 17 — рукоятка регулировки размеров пузырька уровня; 18 — заводная головка; 19 — съемная оправа с двумя цветными светофильтрами и матовым рассеивателем; 20 — вид справа; 20 — металлическая пластина; 21 — петля подсоединения тросика; 22, 23 — кнопки для включения и выключения сцепления угломерного барабана с осредняющим механизмом; 24 — кожу; 25 — окно для наблюдения осредняющего механизма; 26 — пластина для записи; 27 — рычаг для установки зеркала ночной подсветки уровня; 28 — рычаг со светофильтрами для ночной подсветки уровня; 29 — рукоятка угломерного барабана; 30 — кнопка переключателя освещения

лампочки, проходя через матовый 14 и красный 15 светофильтр, попадают на зеркало 5, которое отражает их на трехгранную призму. Далее лучи идут так же, как и при дневных измерениях. Для улучшения наблюдения звезд полю зрения придают красную окраску с помощью красного светофильтра 15.

Наблюдение звезд, имеющих небольшую яркость, производят «на просвет», для этого секстант поднимают вверх над головой и смотрят на плоско-параллельную пластинку снизу. При таком способе наблюдения увеличивается обзор неба, что облегчает отыскание намеченного светила.

Общий вид секстанта ИМС-3 показан на рис. 6.3. На левой стороне секстанта размещены: ручка 15 для держания секстанта при работе; общий выключатель питания 5 и реостат 13 для регулировки яркости подсветки уровня, расположенные на ручке; часовой механизм 3 с заводной головкой 18; винт 2 для переключения интервала времени работы часового механизма; пусковой рычаг часового механизма 4; направляющая 10 для окулярной насадки 8; штепсельная розетка 12 для подсоединения источника питания; кнопка 16 для фиксации секстанта на упоре с аморти-

затором расположена ниже ручки; рукоятка 17 для регулировки размеров пузырька уровня.

На правой стороне секстанта расположены: кожух 24, предохраняющий угломерное устройство от механических повреждений; рукоятка угломерного барабана 29; пластина 26 для записи; рычаг 27 для установки зеркала ночной подсветки уровня в положения «Включено» и «Выключено»; кнопка 30 переключателя освещения, предназначенная для включения освещения шкалы десятков градусов и угломерного барабана.

В задней части секстанта, обращенной к наблюдателю, находятся: кронштейн со съёмными светофильтрами 6 и 7; наглазник 9; предохранительные упоры 11, предназначенные для упора секстанта при наблюдении светил «на просвет», а в передней части секстанта — отверстие для съёмной оправы 19 с двумя цветными светофильтрами и матовым рассеивателем; рычаг 28 с матовым и красным светофильтрами для ночной подсветки уровня.

В верхней части секстанта находятся: петля 21 для подсоединения тросика для подвески секстанта; осредняющий механизм с отметчиком конца работы осредняющего механизма, наблюдаемый через окно 25; две кнопки 22 и 23 для включения и выключения сцепления угломерного барабана с осредняющим механизмом. При нажатии на кнопку 22 защелка освобождает коромысло и его палец входит в одно из отверстий, имеющих на угломерном барабане, тем самым сцепляя угломерный барабан с осредняющим механизмом. При нажатии на кнопку 23 происходит воздействие на хвостовик коромысла, в результате чего палец коромысла выходит из отверстия угломерного барабана и коромысло становится на защелку.

В нижней части секстанта размещен механизм 14 медленного вращения угломерного барабана. Для включения механизма необходимо оттянуть кнопку и осторожно поставить рычаг в положение «Включено». Вращение угломерного барабана осуществляется медленным вращением маховичка большим пальцем правой руки. Отключение механизма производится поворотом рычага в положение «Выключено».

### 3. ПРЕПОЛЕТНАЯ ПРОВЕРКА И ПОДГОТОВКА СЕКСТАНА ИМС-3 К РАБОТЕ

Для обеспечения точности работы секстанта необходимо систематически контролировать его состояние. Перед каждым полетом штурман обязан проверять исправность секстанта. Предполетная проверка секстанта ИМС-3 и подготовка его к работе производятся в следующем порядке:

1. Достать секстант из ящика и произвести внешний осмотр прибора, обращая внимание на отсутствие повреждений и поломок. При наличии пыли смахнуть ее кисточкой со всех стекол, светофильтров и объектива окулярной насадки.

2. Убедиться в работе часового механизма осреднителя и сверить интервалы работы механизма по секундомеру. Для завода часового механизма необходимо нажать заводную головку и вращать ее в направлении, указанном стрелкой. Окончание завода характеризуется ощутимым щелчком и упором при вращении заводной головки. Переключение интервала времени работы следует производить только при работающем часовом механизме.

Выбор временного интервала зависит от условий полета. При спокойных условиях полета, когда нет болтанки, время работы осреднителя устанавливается 40 с.

3. Вызвать и отрегулировать пузырек уровня, для чего необходимо:

а) удерживая секстант левой рукой, слегка приподнять его переднюю часть;

б) правой рукой вращать рукоятку регулировки размеров пузырька уровня в направлении широкой стороны стрелки (на себя) до появления в верхней части поля зрения пузырька;

в) вращением рукоятки регулировки в направлении острого конца стрелки (от себя) добиться нужного размера пузырька.

При вызове пузырька уровня и регулировке его размера необходимо удерживать пузырек у треугольного индекса, который указывает положение капиллярного отверстия, соединяющего рабочую камеру уровня с воздушной. При измерении высоты Солнца и Луны размер пузырька должен быть таким, чтобы в него помещалось изображение этих светил. Диаметр пузырька в этом случае должен примерно равняться половине стороны квадрата, видимого в поле зрения, а при измерении высот звезд размер пузырька должен быть в два раза меньше.

4. Проверить плавность вращения рукоятки угломерного барабана.

5. Проверить исправность механизма сцепления угломерного барабана с осредняющим механизмом. При нажатии на кнопки коромысло должно четко включаться и выключаться.

6. При дневных наблюдениях установить в съемной оправе матовый рассеиватель, а при яркой освещенности один из светофильтров. Над главным зеркалом также установить один или два светофильтра.

7. При ночных наблюдениях поставить рычаг установки зеркала ночной подсветки уровня в положение «Включено»; установить один из светофильтров ночной подсветки; подсоединить источник питания; включить освещение секстанта и отрегулировать реостатом такую яркость уровня, чтобы он был слегка освещен.

При пользовании секстантом на земле перед тем, как включить понижающий трансформатор в сеть 127 В или 220 В переменного тока, необходимо проверить, соответствует ли положение переключателя, расположенного на кожухе трансформатора под колпаком, напряжению сети.

8. Проверить исправность системы освещения секстанта. При включенном электропитании и заведенном или работающем ча-

совом механизме должна гореть лампа освещения уровня. После окончания работы часовой механизма эта лампа должна погаснуть, а лампа подсветки шкал осредняющего механизма должна загореться. При нажатии на кнопку переключателя освещения должна загореться лампа освещения шкалы десятков градусов и шкалы угломерного барабана. Лампа подсветки уровня находится в нижней передней части секстанта и закрыта кожухом, который удерживается специальным хомутиком.

Схема освещения выполнена таким образом, что в любой момент может гореть только одна лампа.

9. Проверить работу осредняющего механизма. Для этого нужно завести часовой механизм и убедиться, что минутная шкала осреднителя установилась на нуль, а градусная — на  $3^{\circ}$ . Указатель градусной шкалы должен находиться против штриха, расположенного между цифрами 2 и 3 (рис. 6.4). Не сцепляя осредняющий механизм с угломерным барабаном, пустить часовой механизм. По окончании работы механизма отсчеты по шкалам осредняющего механизма должны остаться прежними.

Снова завести часовой механизм, сцепить осредняющий механизм с угломерным барабаном и повернуть его в любую сторону точно на  $2^{\circ}$  по нониусу. Включить часовой механизм и в продолжение его работы удерживать по нониусу отсчет, равный  $2^{\circ}$ . По окончании работы часового механизма на минутной шкале осредняющего механизма отсчет должен быть равен нулю, а индекс градусной шкалы должен установиться на штрих между цифрами 4 и 5 или 0 и 1 в зависимости от того, в какую сторону был повернут угломерный барабан.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ СВЕТИЛ СЕКСТАНТОМ ИМС-3

Точность определения астрономических линий положения и места самолета в значительной мере зависит от точности измерения высот светил. Поэтому штурман, измеряя высоты светил секстантом, должен стремиться измерить их с наибольшей точностью.

Большое значение при измерении высот светил имеет соблюдение режима полета. Всякие ускорения, воздействуя на пузырек уровня, отклоняют его от истинной вертикали, вследствие чего высота светила измеряется с ошибкой, которая носит случайный характер. Для уменьшения этих ошибок необходимо во время выполнения астрономических измерений более строго выдерживать курс, скорость и высоту полета, а также пользоваться

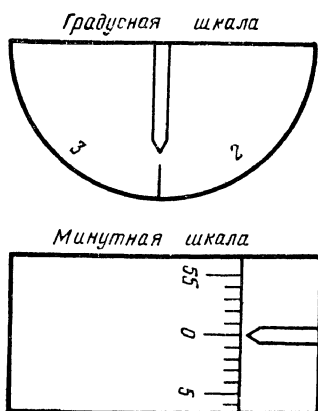


Рис. 6.4. Положение шкал осредняющего механизма

осредняющим механизмом, который непрерывно осредняет измеряемую высоту и тем самым сводит к минимуму ошибки, имеющие случайный характер.

Измерение высоты светил в полете производится через специальный астрокупол, или чаще всего через остекление кабин самолета. Следует иметь в виду, что выпуклые стекла искажают высоту светил. Поэтому измерение высот светил необходимо производить через плоские стекла кабин, которые не изменяют направления хода лучей.

Астрокуполы искажают высоту светил. Но для них имеются специальные таблицы поправок на рефракцию астрокупола.

Чтобы достигнуть наибольшей точности измерения высот, штурман обязан также строго соблюдать установленные правила измерения высот секстантом, которые изложены ниже.

**Измерение высот светил днем.** Измерение высот светил в полете должно производиться с включенным осредняющим механизмом. Для измерения высот светил днем с помощью секстанта ИМС-3 необходимо:

вынуть секстант из ящика и подготовить его к дневным измерениям;

вызвать пузырек уровня и отрегулировать его размер до нужной величины;

завести часовой механизм осреднителя;

отключить механизм медленного вращения угломерного барабана путем перевода рычага в положение «Выключено»;

повернуться лицом к наблюдаемому светилу, оценить на глаз его высоту и установить ее на шкале десятков градусов;

взять секстант левой рукой за ручку, а правой за рукоятку вращения угломерного барабана и, смотря через окулярный насадок или непосредственно на главное зеркало, наклоном секстанта поместить пузырек уровня в середине квадрата поля зрения;

вращением рукоятки угломерного барабана ввести в поле зрения секстанта изображение светила и добиться приближенного совмещения его с пузырьком уровня;

сцепить угломерный барабан с осредняющим механизмом, нажав на ближнюю к наглазнику кнопку, и, повернув угломерный барабан в ту или иную сторону, добиться, чтобы палец коромысла попал в одно из отверстий угломерного барабана;

плавным поворотом рукоятки угломерного барабана добиться точного совмещения изображения светила с пузырьком уровня;

нажать на пусковой рычаг часового механизма и в течение всего времени его работы вращением рукоятки угломерного барабана удерживать совмещенными изображения светила и пузырька уровня в пределах квадрата поля зрения;

по окончании работы часового механизма, которое определяется по появлению флажка отметчика в правой верхней части поля зрения, немедленно заметить показание часов, а затем

снять отсчеты по шкалам секстанта. Отсчитать десятки градусов — по шкале десятков; единицы градусов — по шкале угломерного барабана против отверстия, куда утоплен палец коромысла; единицы градусов — по градусной шкале осреднителя; минуты — по минутной шкале осреднителя. Для правильного снятия отсчета по шкалам осреднителя необходимо придерживаться такого правила: отсчет градусов производится по цифре, находящейся в секторе, в пределах которого расположен индекс градусной шкалы. При совпадении индекса с одним из штрихов, обозначающих границы секторов градусной шкалы, отсчет градусов производится в зависимости от числа минут по минутной шкале осреднителя. Если число минут по минутной шкале равно нулю или находится в начале шкалы, то отсчитывается большее число градусов, и, наоборот, если число минут находится в конце шкалы, то — меньшее число градусов. Например,  $3^{\circ}02'$  и  $2^{\circ}58'$ ;

определить измеренную высоту светила путем сложения полученных отсчетов;

определить момент измерения высоты светила, для чего от показания часов в момент окончания измерения высоты вычесть половину интервала времени работы часового механизма осреднителя.

**Измерение высот светил ночью.** Для измерения высот светил ночью необходимо:

подключить секстант к источнику питания;

включить зеркало ночной подсветки уровня, повернув рычаг в положение «Включено»;

включить освещение секстанта;

завести часовой механизм осреднителя;

отрегулировать реостатом освещение пузырька уровня;

включить один из светофильтров подсветки уровня (матовый или красный);

отрегулировать величину пузырька уровня;

совместить приближенно светило с центром пузырька. Для введения в поле зрения секстанта изображения светила рекомендуется наблюдать светило «на просвет», т. е. снизу через главное зеркало. Этот метод наблюдения рекомендуется применять также при измерении высот светил малой яркости;

в остальном порядок работы с секстантом при ночных измерениях не отличается от порядка работы при дневных измерениях.

При измерении высот светил ночью окончание работы часового механизма осреднителя определяется по переключению освещения пузырька уровня на освещение шкал осредняющего механизма.

**Измерение высот светил без осредняющего механизма.** В практике иногда встречаются случаи, когда возникает необходимость одиночных измерений высоты, например при отказе осредняющего механизма. При одиночных измерениях высот светил необходимо:



Рис. 6.5. Отсчет высоты при измерении без осредняющего механизма

отключить осредняющий механизм от угломерного барабана, нажав на кнопку хвостовика коромысла;

вращением рукоятки угломерного барабана добиться приближенного совмещения изображения светила с пузырьком уровня; включить механизм медленного вращения угломерного барабана, повернув рычаг в положение «Включено»;

медленным вращением маховичка добиться точного совмещения изображения светила с изображением пузырька уровня, удерживаемого в квадрате поля зрения;

заметить момент времени и произвести отсчет по шкалам секстанта (6.5). Отсчитать десятки градусов по шкале десятков; единицы градусов и число пятиминутных делений по шкале угломерного барабана против нуля нониусной шкалы; минуты — по нониусной шкале против того деления, которое совпадает с делением шкалы угломерного барабана;

определить измеренную высоту светила путем сложения полученных отсчетов с последующим добавлением  $3^\circ$ . Одиночные отсчеты увеличивать на  $3^\circ$  необходимо потому, что шкала десятков градусов секстанта смещена на  $3^\circ$  в сторону уменьшения. Эти  $3^\circ$  перенесены на шкалы осреднителя. Сделано это для того, чтобы отсчеты по шкалам осреднителя всегда брать со знаком плюс. Однако из-за этого при измерении высоты без осредняющего механизма приходится к снятым отсчетам всегда прибавлять  $3^\circ$ .

Измеренная высота светила, отсчитанная по шкалам, показанным на рис. 6.5  $h'_{изм} = 30^\circ + 4^\circ 25' + 3' + 3^\circ = 37^\circ 28'$ .

По окончании работы с секстантом перед укладкой его в ящик необходимо рукоятку регулировки размера пузырька уровня завернуть до упора. При этом пузырек уровня приобретает увеличенный размер, вследствие чего давление внутри камеры уровня уменьшается, что способствует сохранению герметичности уровня и продолжительности его работы.

## 5. СЕКСТАНТ ИАС-1М

Интегрирующий авиационный секстант ИАС-1М является ручным секстантом и предназначен для измерения высот небесных светил как днем, так и ночью. Общий вид секстанта показан на рис. 6.6.

Секстант ИАС-1М состоит из оптической системы, механизма уровня, угломерного и осредняющего механизмов и осветительной системы. По устройству он мало чем отличается от секстанта ИМС-3. Благодаря отсутствию кожуха обеспечивается лучшее наблюдение шкал угломерного барабана, десятков градусов и нониусной шкалы, чем у морского секстанта.



**Секстант ИАС-1М** имеет такие технические данные: диапазон измерения высот светил от 0 до  $+80^\circ$ ; точность измерения высоты  $\pm 1-2'$ ; угол поля зрения  $7,5^\circ$ ; продолжительность работы осредняющего механизма 40, 120 и 200 с; пределы осреднения измеряемой высоты  $\pm 2^\circ 30'$ ; напряжение электролампочек 2,5 В; масса секстанта 2,8 кг; масса комплекта 6,1 кг.

Проверка секстанта ИАС-1М и подготовка его к работе выполняются таким же образом, как и секстанта ИМС-3. Измерение высот светил производится путем совмещения изображения наблюдаемого светила с изображением пузырька уровня и не отличается от порядка измерения, описанного выше.

При ночных измерениях вместо матового рассеивателя ставится трубка с зеркалом. Для электропитания лампочек в специальное гнездо вкладываются электробатареи на 2,5 В или вставляется колодка с дополнительным сопротивлением 80 Ом, которая подсоединяется к бортовой сети 24 В.

В тех случаях, когда измерение высоты производится без осредняющего механизма, необходимо пользоваться тормозным устройством угломерного барабана.

Включение этого устройства осуществляется при помощи рычага, находящегося на внутренней стороне правой металлической пластины секстанта.

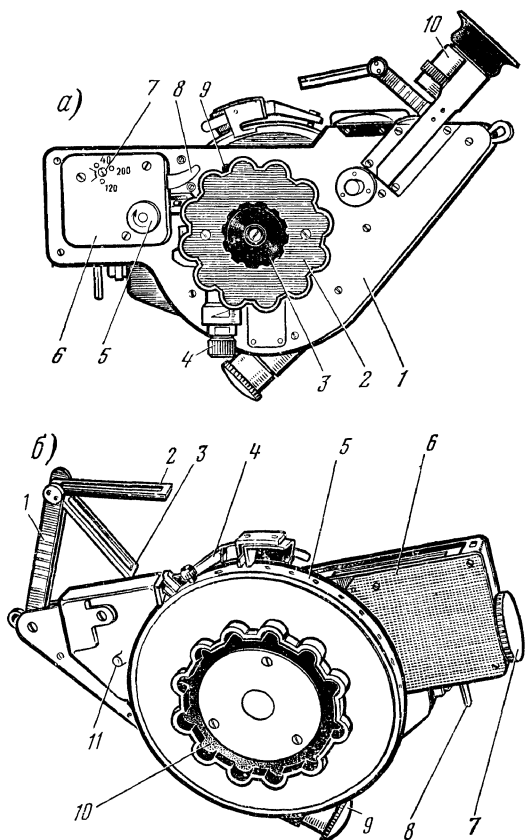


Рис. 6.6. Ручной секстант ИАС-1М: а — вид слева;

1 — металлическая пластина; 2 — рукоятка для держания секстанта при работе; 3 — реостат регулировки подсветки уровня; 4 — рукоятка регулировки размеров пузырька уровня; 5 — заводная головка; 6 — часовой механизм осреднителя; 7 — винт для переключения интервала времени работы часового механизма; 8 — пусковой рычаг часового механизма; 9 — общий выключатель; 10 — окулярная насадка; 6 — вид справа; 1 — кронштейн светофильтров; 2 и 3 — светофильтры; 4 — коромысло; 5 — угломерный барабан; 6 — металлическая пластина; 7 — отверстие для матового рассеивателя при наблюдениях днем или зеркала при наблюдениях ночью; 8 — рычаг светофильтров ночного освещения поля зрения; 9 — гнездо для электропитания секстанта; 10 — рукоятка угломерного барабана; 11 — кнопка переключения освещения

## 6. СЕКСТАНТ СП-1М

Панорамно-перископический секстант СП-1М является авиационным бортовым секстантом, предназначенным для измерения из герметической кабины самолета высот и курсовых углов светил. Он работает совместно с авиационным астрономическим хронометром 13-20ЧП.

### Основные технические данные секстанта СП-1М:

Диапазон измерения высот светил . . . . .	0 ÷ ±85°
» » курсовых углов светил . . . . .	0—360°
Угол поля зрения секстанта . . . . .	40°
Продолжительность работы часового механизма осреднителя . . . . .	20, 30 и 40 с
Предел осреднения измеряемой высоты светила . . . . .	±2°30'
Точность измерения высоты светила . . . . .	±2'
Допустимый угол наклона секстанта от вертикали . . . . .	8°
Питание прибора . . . . .	постоянным током напряжением 27 В, переменным током <sup>1</sup> напряжением 45 В и частотой 400 Гц
Масса секстанта . . . . .	29 кг

## 7. УСТРОЙСТВО СЕКСТАНТА СП-1М

Общий вид секстанта СП-1М показан на рис. 6.7. Секстант укреплен на шаровом кардане, который позволяет наклонять его в любую сторону на 8° с сохранением герметичности кабины. При рулении, взлете и посадке шаровой кардан застопоривается с помощью стопорного механизма.

В верхней части секстанта, выступающей наружу из кабины, находится головка с куб-призмой 5, которая имеет механическую связь с рукояткой угломерного барабана измерения высот 12 и рукояткой барабана курсовых углов 4. При помощи этих рукояток куб-призму можно поворачивать в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Куб-призма направляет лучи света от наблюдаемого светила в перископическую трубу, в которой расположена оптическая система секстанта. В оптической системе лучи преломляются и попадают на окуляр 1, где и наблюдаются глазом. На окуляр попадают также лучи от уровня, поэтому в поле зрения секстанта одновременно видны изображения пузырька уровня и светила. При наблюдении Солнца в зависимости от его яркости пользуются сменными светофильтрами, которые устанавливаются с помощью рукоятки 6.

Секстант имеет осредняющий механизм, предназначенный для осреднения измеряемой высоты. Продолжительность работы часового механизма может быть установлена 20, 30 и 40 с. Завод часового механизма производится рукояткой 18, которую при заводе нажимают и вращают по часовой стрелке. Для пуска часового механизма имеется рычаг 17.

Пузырек уровня видно только при его подсвете. Подсвет пузырька включается автоматически после завода часового механизма осреднителя и выключается после окончания его работы. Подсвет пузырька уровня регулируется реостатом 10, который расположен на правой стороне секстанта. Размер пузырька уровня регулируется так же, как и в ИМС-3, причем при регулировке он должен находиться в треугольнике, видимом в поле зрения секстанта.

Оптическая система секстанта устроена так, что наблюдатель на любом курсовом угле в поле зрения секстанта видит верхние светила сверху, правые — справа, левые — слева и т. д., т. е. он видит нормальное (неперевернутое) изображение наблюдаемого участка неба. Такой метод передачи изображения неба приводит к повороту изображения сетки уровня, нанесенной на верхней

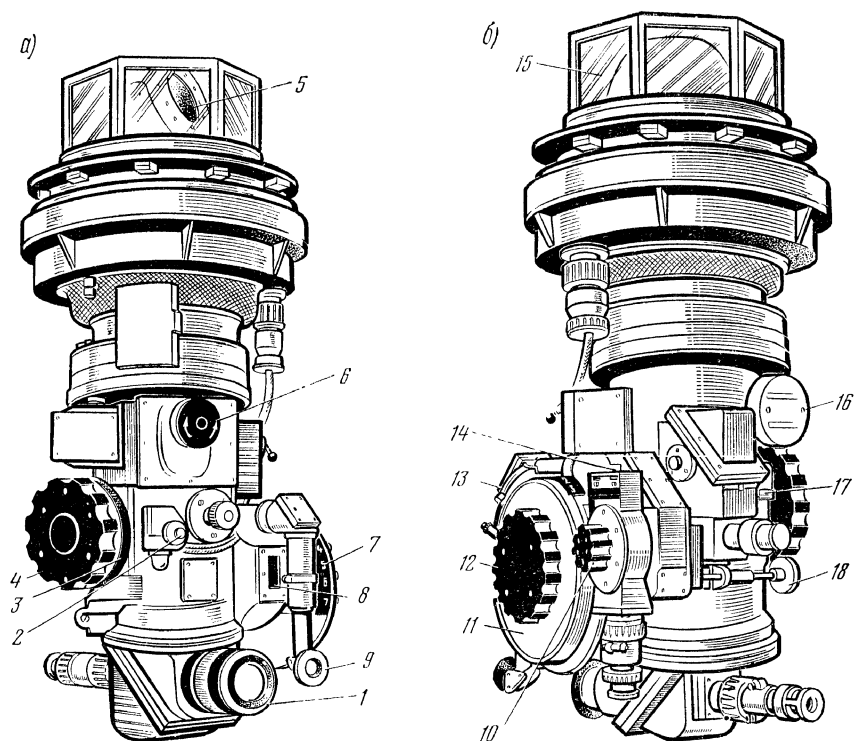


Рис. 6.7. Общий вид секстанта СП-1М:

*a* — вид сзади; *b* — вид спереди; 1 — окуляр; 2 — кнопка включения лампочек подсветки шкал курсовых углов и десятков градусов высоты светила; 3 — шкала курсовых углов светила; 4 — рукоятка барабана курсовых углов; 5 — головка с куб-призмой; 6 — рукоятка смены светофильтров; 7 — шкала единиц градусов высоты светила; 8 — окошко для наблюдения шкал десятков градусов высоты светила; 9 — окулярная трубка для наблюдения шкал осреднителя; 10 — реостат регулировки яркости подсветки уровня; 11 — угломерный барабан; 12 — рукоятка угломерного барабана; 13 — рычаг сцепления угломерного барабана с осредняющим механизмом; 14 — переключатель счетчиков хронометра; 15 — защитный колпак, 16 — сельсин-датчик курсовых углов светила; 17 — рычаг пуска часового механизма осреднителя; 18 — рукоятка для завода часового механизма осреднителя

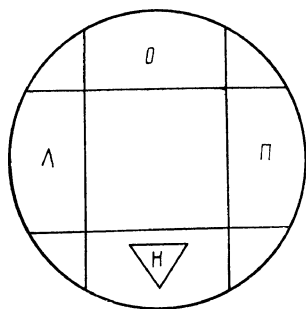


Рис. 6.8. Поле зрения секстанта СП-1М

линзе уровня, при изменении курсового угла. Это обстоятельство затрудняет установку секстанта по уровню при измерении высоты светила, так как один и тот же наклон секстанта на различных курсовых углах вызывает уход пузырька уровня в разные стороны.

Для облегчения установки секстанта по уровню на верхней линзе уровня нанесены буквы О, Н, Л и П, которые указывают, куда необходимо перемещать секстант, если пузырек уровня не находится в центре поля зрения (рис. 6.8). Нанесенные буквы означают: О — от себя, Н — на себя, Л —

влево, П — вправо. При нахождении пузырька у одной из этих букв секстант отклоняют в указанных направлениях вне зависимости от того, где расположена буква относительно наблюдателя.

Секстант СП-1М позволяет производить как одиночные, так и осредненные измерения высот светил. Отсчет по шкалам осреднителя производится через окулярную трубку 9. (см. рис. 6.7). Подсветка этих шкал включается автоматически по окончании работы часового механизма осреднителя. Для подсвета шкалы десятков градусов высот и шкалы курсовых углов имеются лампы, которые загораются при нажатии на кнопку 2. Измеренная высота светила находится по сумме отсчетов так же, как и в ИМС-3.

При одиночных измерениях в отсчет измеренной высоты вводится постоянная поправка на сдвиг нулевого индекса шкалы десятков градусов, равная  $3^\circ$ .

Измеренный курсовой угол светила передается на астрокомпас ДАК-ДБ-5 для определения истинного курса самолета.

Секстант СП-1М имеет электрическую связь с авиационным астрономическим хронометром 13-20ЧП, предназначенным для указания точного времени и для автоматического фиксирования момента окончания измерения высот светил. Связь секстанта с хронометром повышает точность отсчета момента измерения высот светил и сокращает интервал между измерениями.

Хронометр состоит из датчика 13ЧП и указателя 20ЧП, который имеет три электромагнитных счетчика времени. Один является счетчиком текущего времени, а два других предназначены для фиксирования момента измерения высоты первого и второго светила.

Установка стрелок счетчиков времени первого и второго светила в согласованное положение со счетчиком текущего времени производится путем нажатия на специальные кнопки.

Управление счетчиками времени первого и второго светил ведется с помощью переключателя 14, расположенного на секстанте СП-1М, который имеет три положения: «1-е светило» — на себя, «нейтрально» и «2-е светило» — от себя.

Если этот переключатель стоит в положении «1-е светило», то по окончании работы осредняющего механизма подается сигнал на счетчик времени первого светила, в результате чего на нем фиксируется момент окончания измерения высоты первого светила. При установке переключателя в положение «2-е светило» сигнал по окончании цикла работы осредняющего механизма подается на счетчик времени второго светила, который останавливается и тем самым фиксирует момент окончания измерения высоты второго светила.

Переводить переключатель счетчиков хронометра с положения «нейтрально» на какое-либо светило следует только при заведенном часовом механизме осреднителя.

Секстант имеет электрический обогрев защитного колпака 15, который включается специальным выключателем, расположенным с правой стороны секстанта.

## 8. ПРЕПОЛЕТНАЯ ПОДГОТОВКА СЕКСТАНТА СП-1М

При подготовке секстанта к полету необходимо осмотреть его и проверить:

- плавность вращения рукояток угломерных барабанов;
- соответствие продолжительности работы часового механизма осреднителя установленным интервалам времени;
- работу осредняющего механизма и дистанционную связь секстанта с хронометром;
- исправность уровня и электрического освещения;
- работу стопорного механизма.

Проверка часового и осредняющего механизмов, исправность уровня и электрического освещения секстанта СП-1М производится в таком же порядке, как и в ИМС-3.

Для проверки дистанционной связи секстанта СП-1М с хронометром необходимо завести часовой механизм осреднителя, а затем согласовать показания счетчиков времени первого и второго светил с показаниями счетчика текущего времени. Переключатель счетчиков хронометра установить в положение «1-е светило». Не сцепляя осредняющий механизм с угломерным барабаном, нажать рычаг пуска часового механизма. По окончании работы часового механизма счетчик времени первого светила должен остановиться и зафиксировать время окончания работы осреднителя.

Вторично завести часовой механизм осреднителя и установить переключатель счетчиков хронометра в положение «2-е светило». Сцепить осредняющий механизм с угломерным барабаном, а затем повернуть его в любую сторону точно на 2° по нониусу и включить часовой механизм. В процессе работы удерживать отсчет 2° по нониусу. По окончании работы часового механизма стрелки второго счетчика времени должны зафиксировать момент его остановки.

Проверяя дистанционную связь секстанта с хронометром, одновременно обращают внимание на точность работы осредняющего механизма в его расцепленном положении с угломерным барабаном и в сцепленном. Точность работы осредняющего механизма секстанта СП-1М проверяется так же, как и в секстанте ИМС-3.

При проверке работы стопорного механизма нужно убедиться, что в отстопоренном положении секстант свободно наклоняется в шаровом кардане в любую сторону на  $8^\circ$ , а в застопоренном — жестко скрепляется с самолетом. При рулении, взлете и посадке секстант должен быть в застопоренном положении.

## 9. ИЗМЕРЕНИЯ СЕКСТАНТОМ СП-1М

Секстант СП-1М позволяет производить измерения высот и курсовых углов светил. Порядок работы в этом случае следующий:

включить освещение и электрообогрев секстанта;

отстопорить секстант;

завести часовой механизм осреднителя и добиться необходимой яркости освещения поля зрения;

отрегулировать нужный размер пузырька уровня. Для этого визирную головку нужно установить на курсовой угол 0, затем отклонить секстант от себя и вращением рукоятки регулировки пузырька уровня добиться необходимой величины пузырька. При регулировке пузырька секстант удерживают так, чтобы пузырек находился в треугольнике, наблюдаемом в поле зрения;

согласовать показания счетчиков времени первого и второго светила с показаниями счетчика текущего времени хронометра;

переключатель счетчиков хронометра установить в положение «1-е светило»;

при измерении высоты Солнца ввести в поле зрения один из светофильтров, обеспечивающий возможность наблюдения;

вращением рукоятки барабана курсовых углов развернуть визирную головку секстанта на приближенный курсовой угол светила (с точностью  $10\text{--}15^\circ$ ), который определяется глазомерно или по формуле  $KУ = А - ИК$ . Азимут светила определяют по таблицам высот и азимутов, а курс самолета по любому курсовому прибору. В этом положении визирной головки куб-призма секстанта установится примерно в плоскости вертикала светила;

вращением рукоятки угломерного барабана ввести в поле зрения секстанта изображения светила;

установить секстант по уровню путем совмещения пузырька с центром квадрата поля зрения;

изменяя курсовой угол и высоту, добиться точного совмещения изображения светила с пузырьком уровня;

сцепить угломерный барабан с осредняющим механизмом, для чего нужно нажать на фиксатор коромысла и поворотом угломер-

ного барабана добиться, чтобы палец коромысла вошел в одно из отверстий угломерного барабана;

предупредить пилота о начале измерений и точно совместив изображение светила с пузырьком уровня, включить часовой механизм осреднителя. Во время работы часового механизма поворотом рукояток угломерного барабана и барабана курсовых углов нужно стремиться возможно точнее держать изображения совмещенными в пределах квадрата поля зрения;

после окончания работы часового механизма осреднителя отсчитать и записать измеренную высоту светила;

для измерения высоты второго светила нужно снова завести часовой механизм осреднителя, а переключатель счетчиков хронометра установить в положение «2-е светило». Дальнейший порядок измерения остается таким же, как и при измерении высоты первого светила.

Моменты окончания измерений первого и второго светил фиксируются на счетчиках хронометра. Полученные высоты соответствуют времени окончания измерения минус половина интервала времени работы часового механизма осреднителя.

**Отыскание выбранных светил секстантом СП-1М.** При использовании секстанта СП-1М совместно с астрокомпасом ДАК-ДБ-5 отыскание выбранных светил в условиях ночного полета можно значительно облегчить применением вычислителя астрокомпаса. В этом случае необходимо:

включить астрокомпас ДАК-ДБ-5 и нажать 3—5 раз кнопку «Подзавод»;

установить переключатель «ДКУ-СП» в положение «СП»; установить на шкалах вычислителя координаты выбранного светила и географические координаты приближенного МС;

определить истинный курс самолета в данный момент полета по любому курсовому прибору;

разворачивать визирную головку секстанта по азимуту до тех пор, пока стрелка указателя курса астрокомпаса укажет истинный курс, равный курсу, определенному по курсовому прибору;

не меняя положения визирной головки по азимуту и наблюдая в окуляр секстанта, медленно вращать рукоятку угломерного барабана до появления в поле зрения секстанта отыскиваемого светила.

**Применение секстанта СП-1М для определения истинного курса самолета ночью.** Истинный курс самолета ночью с помощью секстанта СП-1М можно определить, если секстант используется в комплексе с астрокомпасом ДАК-ДБ-5. Для определения истинного курса по Луне, планетам и звездам с помощью секстанта СП-1М, работающего совместно с ДАК-ДБ-5 необходимо:

включить астрокомпас и нажать 3—5 раз на кнопку «Подзавод»;

установить на шкалах вычислителя координаты выбранного светила соответственно текущему моменту времени и географические координаты места самолета;

установить на путевом корректоре индекс «Скорость» и стрелку «Путь» на нуль;

установить переключатель «ДКУ-СП» в положение «СП»; запеленговать светило секстантом.

Отсчитать истинный курс самолета по указателю астрокомпас. Отсчитанный курс будет соответствовать истинному курсу самолета в момент пеленгования светила.

## 10. АВИАЦИОННЫЙ ПЕРИСКОПИЧЕСКИЙ СЕКСТАНТ

В гражданской авиации, кроме перископического секстанта СП-1М, применяется еще один перископический секстант, устанавливаемый на некоторых самолетах Ил-62. Этот авиационный перископический секстант предназначен для измерения высот и курсовых углов небесных светил, курсовых углов наземных ориентиров и определения истинного курса самолета. Он имеет следующие технические данные: диапазон измеряемых высот от  $-5$  до  $+90^\circ$ ; точность измерения высоты светила  $\pm 1'$ ; угол поля зрения  $15^\circ$ ; максимальная продолжительность работы осредняющего механизма 2 мин; минимальная продолжительность работы осредняющего механизма 30 с; масса секстанта 7 кг.

Секстант состоит из оптических систем наблюдения и отсчета курса, кинематической и электрической систем, система наблюдения — из ряда призм, объектива, уровня, сетки с перекрестием и окуляра, а система отсчета курса — из шкалы и микроскопа, позволяющего производить точный отсчет курса самолета. Кинематическая система состоит из измерителя высоты, осреднителя, устройства для установки истинного азимута светила, светофильтров и поляризаторов, предназначенных для определения истинного курса самолета при полете в сумерках. Осреднитель секстанта имеет завод на 2 мин. После 30 с работы он может быть выключен в любой момент. Электрическая система состоит из цепей питания ламп подсвета.

При работе секстант вставляется в подвес, конструкция которого позволяет наклонять секстант на  $15^\circ$  в любую сторону и вращать его вокруг вертикальной оси на  $360^\circ$ . На подвесе имеется фиксатор для закрепления секстанта в рабочем положении и зажим для предотвращения вращения секстанта вокруг вертикальной оси.

**Подготовка секстанта к работе.** Порядок подготовки: произвести внешний осмотр секстанта и убедиться в его исправности;

установить секстант в подвес в рабочее положение;

вставить разъем подвеса в гнездо секстанта;

проверить исправность ламп подсвета;

отрегулировать реостатом яркость подсветки уровня, сетки и шкалы курса;

при необходимости установить светофильтр.



**Измерение высот светил.** Для измерения высоты светила необходимо:

установить на секстанте приближенные значения азимута и высоты светила;

наклоняя секстант, привести пузырек уровня на перекрестие сетки;

поворачивая секстант в подвесе и вращая ручку высоты, совместить изображение светила с изображением пузырька уровня;

удерживая изображения совмещенными, включить осреднитель; закончив измерение, отсчитать по часам время окончания измерения высоты светила;

прочитать время, отработанное на диске осреднителя, и половину этого времени вычесть из времени окончания измерения высоты. Полученный результат будет соответствовать моменту измерения высоты светила;

отсчитать на соответствующих шкалах секстанта высоту светила.

**Определение истинного курса самолета.** Авиационный перископический секстант позволяет определять истинный курс самолета. В секстанте решается формула  $ИК = А - КУ$ . Азимут светила вычисляется и устанавливается на секстанте, а курсовой угол измеряется путем разворота секстанта вокруг вертикальной оси до совмещения изображения светила с вертикальным штрихом сетки; при этом пузырек уровня должен удерживаться на перекрестии сетки. Для определения истинного курса необходимо:

установить на секстанте вычисленное значение азимута светила;

установить секстант по уровню;

поворачивая секстант в подвесе и вращая ручку высоты, совместить изображение светила с вертикальным штрихом сетки;

на шкале курса прочитать значение истинного курса самолета.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ И МЕСТА САМОЛЕТА ПО НЕБЕСНЫМ СВЕТИЛАМ

### 1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ МЕСТО СВЕТИЛА

Принцип определения линий положения и места самолета с помощью астрономических средств связан с географическим местом светила. Географическим местом светила (ГМС) называется точка проекции светила на земную поверхность, т. е. точка, в которой данное светило наблюдается в зените.

На рис. 7.1 изображены небесная сфера и земной шар. Центр небесной сферы расположен в центре Земли, а ось мира совпадает с осью вращения Земли. Прямая  $MO$ , проведенная от светила в центр Земли, пересекает земную поверхность в точке, которая является географическим местом светила (ГМС). Наблюдатель, находящийся в этой точке на Земле, будет видеть светило в зените. В точке географического места светила высота светила равна  $90^\circ$ , а зенитное расстояние 0.

Из рис. 7.1 видно, что круг склонения светила лежит в одной плоскости с географическим меридианом, проходящим через точку ГМС, а плоскость небесного экватора совпадает с плоскостью земного экватора. Поэтому географические координаты ГМС соответствуют экваториальным координатам светила. Широта ГМС равна склонению светила, а западная долгота — западному гринвичскому часовому углу, т. е.  $\varphi_{\text{ГМС}} = \delta$ ;  $\lambda_{\text{ГМС}}^3 = t_{\text{Гр}}^3$ .

Если западный часовой угол больше  $180^\circ$ , то в этом случае определяют восточную долготу по формуле  $\lambda_{\text{ГМС}}^3 = 360^\circ - t_{\text{Гр}}^3$ .

Каждому светилу на земной поверхности соответствует свое ГМС, координаты которого могут быть определены с помощью ААЕ для любого момента времени. Зная эти координаты, можно нанести точку ГМС на глобус и затем использовать ее для определения места самолета.

**Пример.** Дата 5 декабря 1975 г.; звезда Капелла, показание часов  $T = 1$  ч 10 мин 32 с; номер часового пояса по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ . Определить географические координаты ГМС.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{Гр}} = T - N_{\text{ч}} = 1 \text{ ч } 10 \text{ мин } 32 \text{ с} + 24 \text{ ч} - 3 \text{ ч} = 22 \text{ ч } 10 \text{ мин } 32 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича 4 декабря.

2. Выбираем из ААЕ для установленной даты и целых часов гринвичского времени значение гринвичского звездного времени:  
 $S'_{Гр} = 43^{\circ}05'$ .

3. Находим по интерполяционным таблицам поправку к гринвичскому звездному времени на минуты и секунды времени:

$$\Delta S_{Гр} = 2^{\circ}30' + 08' = 2^{\circ}38'.$$

4. Определяем гринвичское звездное время для заданного момента:

$$S_{Гр} = S'_{Гр} + \Delta S_{Гр} = 43^{\circ}05' + 2^{\circ}38' = 45^{\circ}43'.$$

5. Выбираем из таблицы экваториальных координат звезд прямое восхождение и склонение звезды Капеллы:  $\alpha = 78^{\circ}43'$ ;  $\delta = +45^{\circ}58'$ .

6. Определяем гринвичский часовой угол звезды Капеллы:

$$t_{Гр} = S_{Гр} - \alpha = 45^{\circ}43' + 360^{\circ} - 78^{\circ}43' = 327^{\circ}.$$

7. Определяем географические координаты ГМС:

$$\varphi_{ГМС} = \delta = 45^{\circ}58' \text{ с}; \quad \lambda^B_{ГМС} = 360^{\circ} - t^B_{Гр} = 360^{\circ} - 327^{\circ} = 33^{\circ}.$$

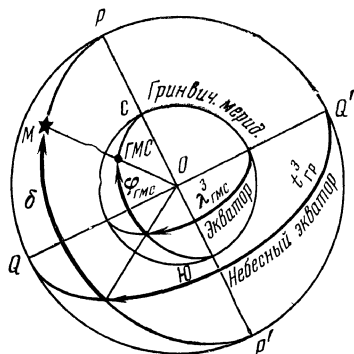


Рис. 7.1. Географическое место светила и его координаты

## 2. КРУГ РАВНЫХ ВЫСОТ СВЕТИЛА

Современные астрономические средства позволяют определять место самолета как автоматически, так и таблично-графическим способом. В основу этих способов положено измерение высоты небесного светила, которая может быть определена автоматически с помощью фотоэлектрических и радиоастрономических следящих систем или неавтоматически — визуально, с помощью ручных или бортовых секстантов. По высоте светила рассчитывают астрономическую линию положения самолета.

На рис. 7.2 изображен земной шар. Вследствие огромных расстояний до светил лучи света от них идут к Земле практически параллельным пучком. В точке  $B$  высота светила равна  $90^{\circ}$ . Как указывалось выше, эта точка является географическим местом светила. По мере удаления от ГМС высота светила будет уменьшаться вследствие изменения положения плоскости истинного горизонта. Чем дальше будет находиться наблюдатель от точки ГМС, тем меньше будет высота этого светила. Для наблюдателя, находящегося в точке  $A$ , высота светила уменьшится на величину зенитного расстояния и станет равной  $h$ .

В точке  $C$ , удаленной от ГМС на такое же угловое расстояние, как и точка  $A$ , высота светила также равна  $h$ . Очевидно, что одна и та же высота светила будет не только в точках  $A$  и  $C$ , но и на всей окружности земной поверхности, проведенной сферическим радиусом, равным дуге  $AB$  с центром в точке ГМС. Малый круг на земной поверхности, во всех точках которого высота данного

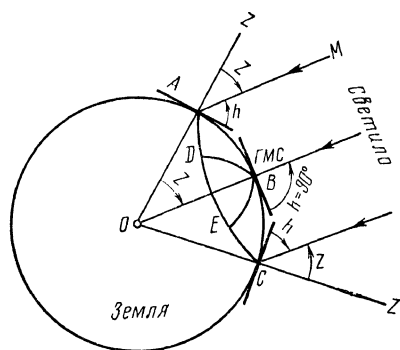


Рис. 7.2. Круг равных высот светила

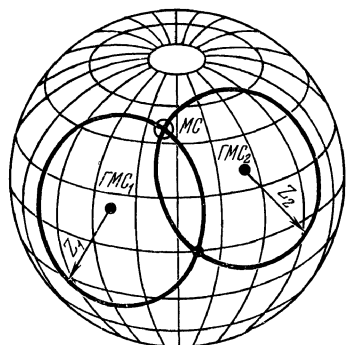


Рис. 7.3. Определение места самолета по кругам равных высот

светила в один и тот же момент одинакова, называется кругом равных высот светила.

Круг равных высот определяет положение наблюдателя в момент измерения высоты светила. Поэтому круг равных высот является линией положения самолета. Из рис. 7.2 видно, что дуга  $AB$  является радиусом круга равных высот. В точке  $A$  зенитное расстояние наблюдаемого светила равно углу  $AOB$ . Этот угол стягивается дугой  $AB$  большого круга на поверхности земного шара. Следовательно, радиус круга равных высот равен зенитному расстоянию светила  $Z=90^\circ-h$ . Зная, что одна минута дуги большого круга на земной поверхности равна 1,852 км, можно вычислить радиус круга равных высот в километрах.

Использование кругов равных высот лежит в основе определения места самолета по небесным светилам. Для определения места самолета по кругам равных высот необходимо:

измерить высоты двух светил и отметить время их измерения; определить с помощью ААЕ географические координаты точек ГМС первого и второго светил; отметить на глобусе (рис. 7.3) по полученным координатам точки ГМС; определить зенитные расстояния светил и провести вокруг ГМС круги равных высот;

отметить место самолета, которое укажет одна из точек пересечения кругов. Обычно точки пересечения кругов удалены друг от друга на несколько тысяч километров. Поэтому штурман, зная хотя бы приблизительно район полета, может без труда определить, в какой из двух точек находится самолет.

### 3. ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПРОКЛАДКИ АЛП НА КАРТЕ

Рассмотренный выше способ определения места самолета прокладкой кругов равных высот на глобусе хотя и простой, но использовать его практически на самолете не представляется возможным ввиду мелкого масштаба изображения земной поверхности на глобусах нормальных размеров, что существенно сказывается на точности определения места самолета. Прокладывать

круги равных высот на карте тоже неудобно, так как ГМС слишком удалено от наблюдателя и для его нанесения потребовалась бы карта больших размеров. Поэтому в практике пользуются другим способом прокладки линий положения самолета, определенных по небесным светилам, который был предложен в 1849 г. офицером русского флота М. А. Акимовым. Этот способ не требует нанесения на карту точки ГМС и круга равных высот.

В принципе для определения места самолета нет необходимости наносить на карту весь круг равных высот. Достаточно проложить лишь небольшую дугу этого круга в районе вероятного нахождения самолета. Кроме того, учитывая, что дуга круга равных высот, проведенная на карте большим радиусом, имеет малую кривизну, можно небольшой отрезок этой дуги заменить отрезком прямой, касательной к кругу равных высот (рис. 7.4). Эта прямая называется прямой равных высот, или астрономической линией положения (АЛП).

В самолетовождении принято АЛП на картах изображать отрезком прямой линии, на концы которой наносят стрелки, направленные во внешние стороны. Над линией указывается время ее определения. Астрономическая линия положения, являясь касательной к кругу равных высот, одновременно перпендикулярна к его радиусу. Поэтому для ее проведения на карте нужно знать направление радиуса в точке наблюдателя. Так как светило и его ГМС всегда находятся в плоскости одного и того же вертикала, то азимут ГМС будет равен азимуту светила.

Графический способ прокладки АЛП на карте основан на следующем. После измерения высоты выбранного светила штурман выбирает в районе предполагаемого местонахождения самолета точку и определяет ее географические координаты. Для этой точки на момент измерения рассчитывается вычисленная высота  $h_v$  и азимут  $A$  выбранного светила по формулам:

$$\sin h_v = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t_{гр} + \lambda);$$

$$\sin A = -\sin (t_{гр} + \lambda) \cos \delta \sec h_v.$$

Выбранную точку, для которой рассчитаны вычисленная высота и азимут светила в авиационной астрономии, принято называть числимой точкой. Первая формула является уравнением круга равных высот светила. Это уравнение связывает вычисленную высоту светила с географическими координатами точек круга равных высот.

В практике расчет вычисленной высоты и азимута светила производится с помощью специальных таблиц. Зная азимут све-

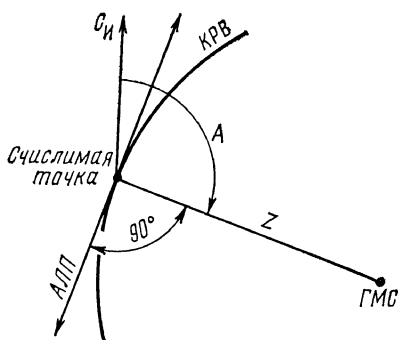


Рис. 7.4. Принцип прокладки астрономической линии положения на карте

тила в счислимой точке, можно провести на карте направление на ГМС, а затем в этой же точке проложить линию, перпендикулярную к линии азимута, которая и будет астрономической линией положения. Эта линия будет касательной к кругу равных высот, проходящему через счислимую точку. Таким образом, используя способ М. А. Акимова, прокладка АЛП на карте сводится лишь к проведению направления на светило в счислимой точке и линии, перпендикулярной к нему. Это делает данный способ простым и приемлемым в условиях работы авиации.

Выше была показана возможность прокладки АЛП на карте без нанесения ГМС. Правда, при этом оговаривалось, что такая прокладка производится через счислимую точку. Но в практике АЛП нужно прокладывать не через счислимую точку, а через точку, которая обязательно должна лежать на круге равных высот, проходящем через местоположение самолета. Только при этом условии проложенную на карте АЛП можно использовать для контроля пути и определения места самолета.

Положение наблюдателя относительно счислимой точки можно определить путем сравнения измеренного зенитного расстояния с вычисленным. Но так как разность зенитных расстояний светила равна разности его высот, то проще положение наблюдателя определить сравнением высот светила. Сравнивая измеренную высоту светила с вычисленной, узнают, насколько наблюдатель находится ближе или дальше от ГМС, чем выбранная счислимая точка (рис. 7.5). Следовательно, разность высот характеризует удаление круга равных высот, проходящего через место самолета, от счислимой точки. Выразив разность высот в километрах и отложив ее от счислимой точки по линии азимута, получают ту точку, через которую проводится АЛП, соответствующая измеренной высоте светила. Порядок работы при прокладке АЛП:

измерить высоту намеченного светила  $h_{изм}$  и записать момент измерения;

выбрать в районе предполагаемого местонахождения самолета

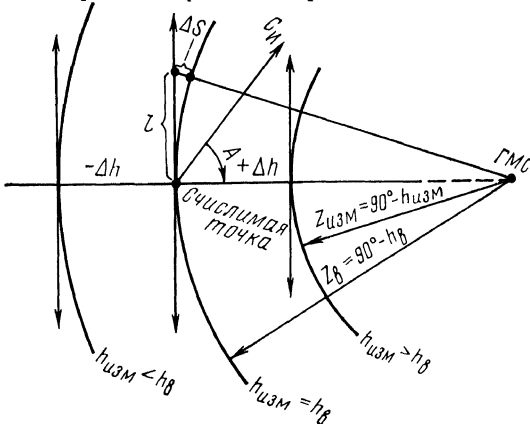


Рис. 7.5. Прокладка астрономической линии положения на карте

счислимую точку с координатами  $\varphi$  и  $\lambda_{п}$ .

вычислить по таблицам для этой точки на момент измерения высоты азимут наблюдаемого светила  $A$  и вычисленную высоту  $h_{в}$ ;

нанести счислимую точку на карту и отложить от нее азимут светила;

определить разность между измеренной и вычисленной высотами по формуле  $\Delta h = h_{изм} - h_{в}$ ;

перевести полученную разность высот в километры и отложить ее от счислимой точки по линии азимута по следующему правилу: в направлении на светило, если  $\Delta h$  положительная, и в направлении от светила, если  $\Delta h$  отрицательная;

через конец отложенного отрезка проложить АЛП перпендикулярно к линии азимута. Если  $\Delta h$  равна нулю, то АЛП прокладывается через счислимую точку, тогда радиусы кругов равных высот счислимой и действительной точек места самолета равны.

Вследствие замены круга равных высот прямой линией возникает ошибка в прокладке линии положения. Линейная величина ошибки в прокладке АЛП  $\Delta S$  равна расстоянию от АЛП до круга равных высот. Из рис. 7.5 видно, что по мере увеличения длины АЛП она все дальше отходит от круга равных высот. Кроме того, указанная ошибка зависит от высоты светила. Чем больше высота светила, тем больше величина ошибки, так как с увеличением высоты светила радиус круга равных высот уменьшается, что приводит к увеличению кривизны круга.

Если задаться определенной величиной ошибки, то допустимую длину АЛП в одну сторону от линии азимута можно определить по формуле

$$l \approx 113 \sqrt{\Delta S \operatorname{ctg} h}.$$

В практике считается, что ошибка  $\Delta S$  не должна превышать 3 км, а высота светила при определении АЛП не должна быть больше  $70^\circ$ . Для этих условий допустимая длина АЛП равна 120 км в одну сторону от линии азимута. Так как в практике пользоваться светилами, высота которых больше  $70^\circ$ , не рекомендуется, то АЛП можно всегда прокладывать длиной до 120 км. В этом случае ошибкой  $\Delta S$  можно пренебречь.

#### 4. РАСЧЕТНЫЕ ТАБЛИЦЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КООРДИНАТ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ И ПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИ

Рассмотренный способ прокладки астрономических линий положения на карте требует знания горизонтальных координат небесных светил. Производить расчет этих координат в полете по формулам сложно, так как вычисления громоздки и занимают много времени. Поэтому для определения горизонтальных координат светил применяются специальные расчетные таблицы, составленные на основании решения параллактического треугольника. Применение расчетных таблиц облегчает работу штурмана при определении элементов астрономических линий положения и ускоряет процесс обработки астрономических наблюдений.

В настоящее время применяются следующие расчетные таблицы: Таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет (ТВА) и Таблицы высот и азимутов звезд (ТВАЗ). Каждый тип таблиц составлен по определенным правилам, без знания которых нельзя

правильно ими пользоваться. Рассмотрим построение и применение расчетных таблиц.

**Таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет (ТВА)** предназначены для определения в счислимой точке вычисленной высоты и азимута светил, указанных в названии таблиц. Таблицы изданы в трех книгах: ТВА-I для широт от 0 до 30°, ТВА-II для широт от 30 до 60° и ТВА-III для широт от 60 до 88°. Этими таблицами можно пользоваться как в Северном, так и в Южном полушариях. Для этого склонение обозначено не знаками плюс и минус, как это обычно принято, а наименованиями: склонение одноименно с широтой и склонение разноименно с широтой. Склонения, одноименные с широтой (широта и склонение северные или южные), даны в верхней части таблицы, а разноименные (широта северная, а склонение южное и наоборот) — в нижней части таблицы.

Входными данными для нахождения высот и азимутов светил являются: склонение, широта места и местный часовой угол светила. Склонение светила в таблицах дано через один градус, а широта места и местный часовой угол даны четными числами через 2°. Это необходимо учитывать при выборе координат счислимой точки.

Часовые углы даны только для периода нахождения светила над горизонтом, т. е. от момента восхода до момента захода. Прохождение светилом горизонта при восходе и заходе для наблюдателя, находящегося на уровне моря, обозначено на правых страницах таблиц разделительной линией. На каждой странице таблиц помещено четыре колонки широт, каждая из которых разделена на три столбца. В первом указаны высоты светил, во втором — индексы  $f$ , служащие для определения поправки к табличной высоте за минуты склонения, и в третьем — азимуты светил.

Отсчет азимутов в таблицах дан от 0 до 180°. В Северном полушарии отсчет азимута ведется от точки севера, а в Южном — от точки юга. Табличный азимут используется для определения навигационного азимута, прокладываемого на карте. Навигационный азимут светила определяется в зависимости от названия местного часового угла, с которым входили в таблицу. При этом пользуются таким правилом: если часовой угол светила восточный, но навигационный азимут равен табличному, т. е.  $A_n = A_{\text{табл}}$ , а если часовой угол западный, то дополнению табличного азимута до 360°, т. е.  $A_n = 360^\circ - A_{\text{табл}}$ . Высоты в таблицах даны с точностью до 1', а азимуты с точностью до 1°.

Таблицы построены для целых градусов склонения светил от 0 до  $\pm 29^\circ$ . Но в практике склонение светил обычно отличается от целого числа градусов, поэтому в таких случаях табличные значения высоты и азимута не будут соответствовать действительным значениям. Это вызывает необходимость исправления табличных значений за минуты склонения.

Для того чтобы упростить пользование таблицами, условилась заданное склонение светила брать таким, чтобы оно не отличалось



от табличного более чем на  $\pm 30'$ . В этом случае табличный азимут при сохранении точности  $1^\circ$  не требует исправления. Поправки к табличной высоте за минуты склонения определяются по специальной таблице (см. приложение 11) по индексу  $f$  и числу минут склонения. Индекс  $f$  показывает, сколько минут высоты приходится на  $10'$  склонения светила на данной широте места. Таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет являются бессрочными. Поэтому ими можно пользоваться независимо от года их издания.

В приложениях к каждой книге даны таблицы поправок к высоте светила за минуты склонения, таблицы поправок за рефракцию атмосферы, за вращение Земли и таблицы перевода минут дуги большого круга в километры. Рассмотрим на примере порядок пользования таблицами.

**Пример 1.** Дата полета 20 августа 1975 г.; светило — Солнце; время  $T = 12$  ч 20 мин 40 с; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$ ; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_{\text{п}} = 32^\circ$  в. Определить вычисленную высоту и азимут Солнца в счислимой точке.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:  
 $T_{\text{Гр}} = T - N_{\text{ч}} = 12$  ч 20 мин 40 с — 3 ч = 9 ч 20 мин 40 с. Дата на меридиане Гринвича 20 августа.

2. Определяем по ААЕ и интерполяционным таблицам (см. приложения 5 и 10) гринвичский часовой угол Солнца для момента наблюдения:

$$t'_{\text{Гр}} = 314^\circ 07'; \quad \Delta t_{\text{Гр}} = 5^\circ 10'; \quad t_{\text{Гр}} = 319^\circ 17'.$$

3. Выбираем из ААЕ склонение Солнца и записываем его в виде алгебраической суммы целого числа градусов и числа минут, не превышающего 30. Такая форма записи склонения необходима для соблюдения принятого в расчетных таблицах способа интерполирования табличной высоты по склонению. Применяя указанную форму записи склонения, получаем:  $\delta = +12^\circ 36' = +13^\circ - 24'$ .

4. Определяем местный часовой угол Солнца с таким расчетом, чтобы он получился целым четным числом градусов. Для этого следует приближенную долготу счислимой точки выбирать так, чтобы она в сумме с гринвичским часовым углом дала целое четное число градусов. Счислимая точка намечается в предполагаемом районе полета.

$$t_{\text{М}}^{\text{С}} = t_{\text{Гр}}^{\text{С}} \pm \lambda_{\text{З}}^{\text{С}} = 319^\circ 17' + 32^\circ 43' = 352^\circ.$$

5. Если западный часовой угол более  $180^\circ$ , переводим его в восточный:

$$t_{\text{М}}^{\text{В}} = 360^\circ - t_{\text{М}}^{\text{С}} = 360^\circ - 352^\circ = 8^\circ.$$

6. Выписываем из ТВА (см. приложение 6) по склонению светила, широте счислимой точки и местному часовому углу табличную высоту, индекс  $f$  и азимут светила. При этом следует учитывать наименование склонения светила и широты места. При склонении, одноименном с широтой, местный часовой угол берут по левой колонке, а при склонении, разноименном с широтой, — по правой. Получаем:  
 $h_{\text{табл}} = 54^\circ 22'$ ;  $f = 10$ ;  $A = 167^\circ$ . Так как местный часовой угол восточный, то полученный табличный азимут равен навигационному.

7. Находим по вспомогательной таблице (см. приложение 11) по индексу  $f$  и минутам склонения  $\Delta \delta$  поправку к табличной высоте за минуты склонения и определяем вычисленную высоту по формуле  $h_{\text{в}} = h_{\text{табл}} + (\pm \Delta h \delta)$ . Знак поправки берется таким, какой имеет величина минут склонения светила. Получаем:  $\Delta h \delta = +24'$ ;  $h_{\text{в}} = 54^\circ 22' + (-24') = 53^\circ 58'$ .

**Пример 2.** Дата полета 21 августа 1975 г.; светило — Луна; время  $T = 2$  ч 40 мин 52 с; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_ч = 3$ ; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 31^\circ$  в. Определить вычисленную высоту и азимут Луны в счислимой точке.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время и дату на меридиане Гринвича:

$$T_{Гр} = T - N_ч = 2 \text{ ч } 40 \text{ мин } 52 \text{ с} + 24 \text{ ч} - 3 \text{ ч} = 23 \text{ ч } 40 \text{ мин } 52 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича 20 августа.

2. Определяем по ААЕ и интерполяционным таблицам для Луны (см. приложения 5 и 12) гринвичский часовой угол Луны для момента наблюдения:

$$t'_{Гр} = 355^\circ 03'; \quad \bar{\Delta} = +15'; \quad \Delta t_{Гр_1} = 9^\circ 45'; \quad \Delta t_{Гр_2} = 10'; \quad t_{Гр} = 4^\circ 58'.$$

3. Определяем склонение Луны и записываем его по установленной форме:  $\delta' = -10^\circ 50'$ ;  $\Delta = +10'$ ;  $\Delta \delta = +7'$ ;  $\delta = -10^\circ 43' = -11^\circ + 17'$ .

4. Определяем местный часовой угол Луны:  $t'_M = t'_{Гр} \pm \lambda_n^B = 4^\circ 58' + 31^\circ 02' = 36^\circ$ .

5. Выписываем из ТВА:  $h_{табл} = 22^\circ 55'$ ;  $f = 9$ ;  $A_{табл} = 141^\circ$ .

6. Определяем навигационный азимут Луны. Так как местный часовой угол западный, то навигационный азимут равен дополнению табличного до  $360^\circ$ . Следовательно,  $A = 360^\circ - 141^\circ = 219^\circ$ .

7. Определяем вычисленную высоту Луны:  $\Delta h \delta = +15'$ ;  $h_B = h_{табл} + (\pm \Delta h \delta) = 22^\circ 55' + (+15') = 23^\circ 10'$ .

**Пример 3.** Дата полета 20 августа 1975 г.; светило — планета Юпитер; время  $T = 3$  ч 15 мин 25 с; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_ч = 3$ ; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 31^\circ$  в. Определить вычисленную высоту и азимут планеты Юпитер в счислимой точке.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время и дату на меридиане Гринвича:  $T_{Гр} = T - N_ч = 3$  ч 15 мин 25 с — 3 ч = 0 ч 15 мин 25 с. Дата на меридиане Гринвича 20 августа.

2. Определяем по ААЕ и интерполяционным таблицам (см. приложения 5 и 10) гринвичский часовой угол Юпитера для момента наблюдения:  $t'_{Гр} = 304^\circ 19'$ ;  $\Delta t_{Гр} = 3^\circ 51'$ ;  $t_{Гр} = 308^\circ 10'$ .

3. Определяем склонение Юпитера и записываем его по установленной форме:  $\delta = +8^\circ 10' = +8^\circ + 10'$ .

4. Определяем местный часовой угол Юпитера:  $t'_M = t'_{Гр} \pm \lambda_n^B = 308^\circ 10' + 31^\circ 50' = 340^\circ$ .

5. Переводим западный часовой угол в восточный:  $t'_M = 360^\circ - t'_M = 360^\circ - 340^\circ = 20^\circ$ .

6. Выписываем из ТВА:  $h_{табл} = 46^\circ 34'$ ;  $f = 9$ ;  $A = 150^\circ$ .

7. Определяем вычисленную высоту Юпитера:  $\Delta h \delta = +9'$ ;  $h_B = 46^\circ 43'$ .

**Таблицы высот и азимутов звезд (ТВАЗ)** предназначены для определения вычисленной высоты и азимута навигационных звезд, а также поправок к измеренной высоте Полярной для точного определения широты места наблюдателя. Таблицы изданы в шести книгах. Три книги для северных широт и три для южных. Каждая книга охватывает определенный диапазон широт. ТВАЗ-I составлена для широт от  $0$  до  $32^\circ$ ; ТВАЗ-II — от  $28$  до  $60^\circ$  и ТВАЗ-III — от  $56$  до  $88^\circ$ .

На каждой книге имеется соответствующая надпись, указывающая, для каких широт она предназначена. Таблицы рассчитаны для 25 навигационных звезд Северного и Южного полушарий. Построены они несколько иначе, чем таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет. Отличия в построении обусловлены тем,

что у звезд склонение и прямое восхождение практически не изменяются в течение года. Входными данными для определения высот и азимутов звезд являются: широта места, местное звездное время и название звезды, которое определяет склонение и прямое восхождение данной звезды.

Таблицы построены для четных широт и каждого градуса местного звездного времени. Азимуты звезд в таблицах даны навигационные. Вследствие прецессии и нутации оси вращения Земли и собственного движения звезд координаты звезд постепенно изменяются. Чтобы таблицы часто не переиздавать, их составляют по координатам звезд, принятым для определенного, наперед взятого года, т. е. для определенной эпохи, и к ним прилагают таблицу поправок за прецессию и нутацию, позволяющую пользоваться расчетными таблицами в течение нескольких лет. К каждой книге ТВАЗ даны в приложении различные дополнительные таблицы, применяемые при расчете АЛП и места самолета по звездам.

**Пример.** Дата полета 21 августа 1975 г.; звезда Вега, время  $T = 1$  ч 42 мин 16 с; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_{\text{п}} = 31^\circ$  в. Определить вычисленную высоту и азимут звезды в счислимой точке.

**Решение.** 1. Определяем гринвичское время и устанавливаем, какая будет дата на меридиане Гринвича:  
 $T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 1$  ч 42 мин 16 с + 24 ч — 3 ч = 22 ч 42 мин 16 с. Дата на меридиане Гринвича 20 августа.

2. Определяем по ААЕ и по интерполяционным таблицам (см. приложения 5 и 10) гринвичское звездное время:  $S'_{\text{гр}} = 298^\circ 37'$ ;  $\Delta S_{\text{гр}} = 10^\circ 36'$ ;  $S_{\text{гр}} = 309^\circ 13'$ .

3. Определяем местное звездное время с таким расчетом, чтобы оно получилось в целых градусах. Для этого необходимо подобрать соответствующую долготу счислимой точки:  $S_{\text{м}} = S_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{в}}^{\text{в}} = 309^\circ 13' + 31^\circ 47' = 341^\circ$ .

4. Выписываем из ТВАЗ (см. приложение 7) по заданной широте, значению местного звездного времени и названию звезды ее высоту и азимут в счислимой точке. Получаем:  $h_{\text{в}} = 45^\circ 15'$ ;  $A = 282^\circ$ .

## 5. ПОПРАВКИ К ИЗМЕРЕННОЙ ВЫСОТЕ СВЕТИЛА

Существующий способ расчета и прокладки АЛП на карте требует знания азимута, измеренной и вычисленной высот светила. Порядок расчета вычисленных высот и азимутов светил с помощью ТВА и ТВАЗ был показан выше. Теперь рассмотрим, какие необходимо вносить поправки в измеренную высоту, так как секстант, как и всякий измерительный прибор, имеет инструментальную и методические ошибки.

Измеренная высота светила должна быть исправлена на следующие поправки.

**Поправка секстанта**  $S$  возникает вследствие неточности регулировки угломерного механизма, неточности нанесения нуля шкалы и за счет личных ошибок штурмана, допускаемых им при измерении высоты. Поэтому полную поправку секстанта должен определять тот штурман, который будет работать с данным секстан-

том. Поправка секстанта записывается на секстанте на специальной пластинке. Она алгебраически прибавляется к измеренной высоте:  $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C)$ . Способы определения поправки секстанта изложены в гл. 8.

**Поправка за рефракцию земной атмосферы  $r$ .** Рефракцией называется преломление лучей света в земной атмосфере в связи с ее неоднородностью. Из рис. 7.6 видно, что луч света, идущий от светила  $M$ , встречая на своем пути земную атмосферу, начинает преломляться. По мере приближения его к Земле преломление увеличивается, так как атмосфера становится более плотной. Наблюдателю, находящемуся в точке  $O$ , светило будет видно в направлении касательной к криволинейному пути луча. Оно окажется отклоненным к зениту и будет наблюдаться в точке  $M_1$  небесной сферы.

Вследствие рефракции светила видны над горизонтом выше их действительного положения. Величина рефракции зависит от высоты светила и высоты полета. Зависимость от высоты полета обусловлена различной плотностью воздуха на разных высотах, вследствие чего изменяется коэффициент преломления света, а от высоты светила — расстоянием, которое луч света проходит в атмосфере. Величина рефракции зависит и от некоторых других причин, влияние которых незначительно. Поэтому в практике при определении рефракции учитывают только высоту полета и высоту светила.

Поправки за рефракцию даны в специальной таблице (см. приложение 16), которая приводится в ТВА и ТВАЗ. Для определения исправленной высоты поправку за рефракцию вычитают из измеренной высоты:  $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} - r$ . Для светил, находящихся в зените, рефракция равна нулю. Наибольшая величина рефракции  $35'$ , когда светила находятся на горизонте, а наблюдатель на земле.

За счет действия рефракции восходящее или заходящее Солнце как бы приподнимается на величину его видимого диска, который равен  $32'$ . Поэтому наблюдатель видит восход Солнца

раньше, а заход — позже, чем они происходят фактически. Величина рефракции с увеличением высоты светила и высоты полета уменьшается.

**Поправка за вращение Земли  $q$ .** На все движущиеся тела действует поворотная сила или сила Кориолиса, возникающая вследствие вращения Земли вокруг своей оси. Действие этой силы было доказано в 1835 г. французским уче-

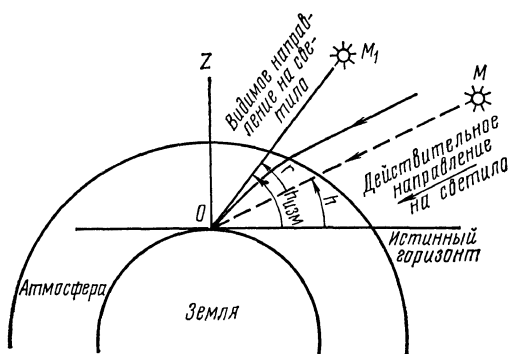


Рис. 7.6. Рефракция земной атмосферы

ным Кориолисом, и поэтому она названа его именем. В Северном полушарии для тел, движущихся в горизонтальной плоскости, эта сила направлена вправо под прямым углом к направлению движения, а в Южном — влево.

Действие этой силы можно наблюдать на некоторых явлениях природы. Например, в Северном полушарии правые берега рек размываются больше, чем левые. Поэтому правые берега рек крутые и обрывистые, а левые пологие.

В полете сила Кориолиса отклоняет пузырек уровня секстанта, вследствие чего искажается вертикаль секстанта и возникает ошибка при измерении высоты светила. Величина этой ошибки возрастает с увеличением скорости полета самолета и широты места. Эту ошибку можно учесть вводом поправки в измеренную высоту светила. Но в практике поправку за вращение Земли учитывают более рациональным способом — графически, путем смещения линии положения или места самолета на карте.

Величина поправки за вращение Земли, выраженная в километрах, находится по специальной таблице, которая приведена в ТВА и ТВАЗ и в приложении 17. Для учета поправки необходимо проложенную на карте АЛП или место самолета в Северном полушарии сместить вправо, а в Южном — влево по перпендикуляру к линии пути на величину, взятую из таблицы. Причем при смещении одной АЛП ее переносят параллельно самой себе (рис. 7.7).

При измерении высоты светила на земле сила Кориолиса на пузырек уровня секстанта не действует, так как наблюдатель неподвижен, и поэтому поправка за вращение Земли не учитывается.

**Поправка за параллакс Луны Р.** Необходимость учета параллакса вызвана тем, что в ТВА и ТВАЗ высоты светил даны относительно центра Земли, а измерение этих высот производится с ее поверхности.

Параллаксом Луны называется угол, заключенный между направлениями на Луну из центра Земли и места расположения наблюдателя (рис. 7.8). Для Солнца, планет и звезд, удаленных от Земли на огромные расстояния, параллакс является малой величиной, и его в практике для указанных светил не учитывают. Например, параллакс Солнца не превышает  $9''$ , а параллакс звезд достигает всего лишь  $0,00004''$ . Для Луны — наиболее близкого к Земле светила — величина параллакса может достигать  $1^\circ$ . Поэтому при измерении высоты Луны приходится учитывать поправку за параллакс. Наибольшей величины параллакс Луны достигает тогда, когда Луна находится у горизонта.

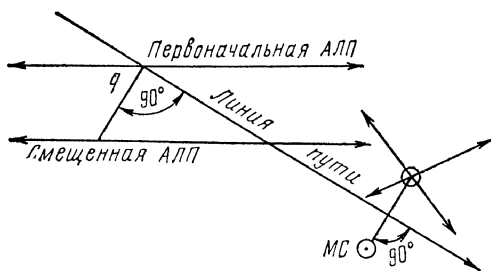


Рис. 7.7. Учет поправки за вращение Земли

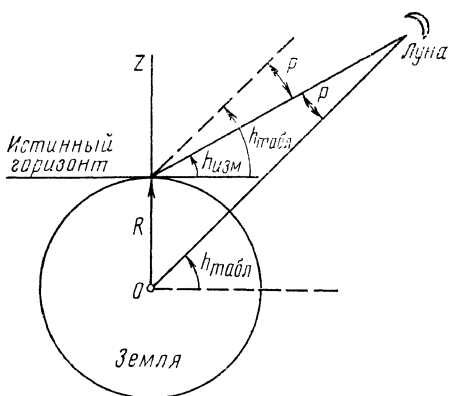


Рис. 7.8. Параллаксы Луны

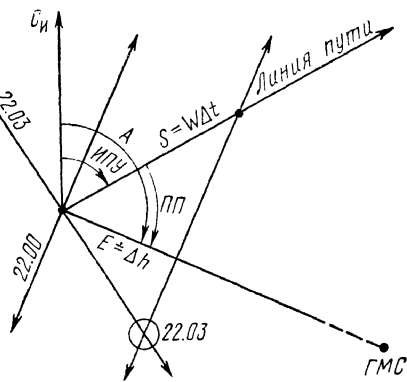


Рис. 7.9. Поправка за перемещение самолета

Вследствие изменения расстояния между Землей и Луной величина максимально возможного значения параллакса колеблется в пределах от 54 до 61'. В основном величина параллакса Луны зависит от ее высоты. С увеличением высоты Луны параллакс уменьшается. Из рис. 7.8 видно, что измеренная секстантом высота Луны будет меньше табличной, данной в ТВА относительно центра Земли. Поэтому поправка за параллакс всегда положительна и ее прибавляют к измеренной высоте:  $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + P$ . Поправка за параллакс Луны дается в ААЕ для каждого дня в зависимости от ее высоты.

**Поправка за перемещение самолета**  $E$  учитывается только тогда, когда место самолета определяется путем прокладки на карте двух АЛП, рассчитанных по высотам светил, измеренных в разные моменты времени.

С помощью секстанта невозможно измерить в один и тот же момент времени высоты двух светил. Поэтому при определении места самолета приходится учитывать его перемещение за время, прошедшее между двумя измерениями высот светил. Привести линии положения к одному моменту времени можно графически (рис. 7.9). Для этого первую АЛП переносят параллельно самой себе в направлении полета на расстояние, равное пройденному самолетом пути за время между моментами измерения высот. Точка пересечения перенесенной АЛП первого светила с АЛП второго светила дает место самолета ко времени измерения высоты второго светила. В практике пользуются аналитическим способом учета поправки за перемещение самолета, который значительно проще и точнее графического способа.

Сущность аналитического способа заключается в том, что в измеренную высоту первого светила вводится специальная поправка  $E$ , выраженная в минутах дуги (см. рис. 7.9). Параллельный перенос первой АЛП эквивалентен введению поправки

$E = \Delta h$  в измеренную высоту первого светила. Поправка  $E$  в минутах дуги рассчитывается по формуле

$$E = \frac{W \Delta t \cos \text{ПП}}{1,852},$$

где  $W$  — путевая скорость самолета;  $\Delta t$  — промежуток времени между моментами измерения двух светил; ПП — путевой пеленг первого светила.

Путевым пеленгом светила ПП называется угол, заключенный между линией пути и направлением на светило. Путевой пеленг светила определяется по формуле  $\text{ПП} = A - \text{ИПУ}$ .

Поправку  $E$  находят по специальной таблице (см. приложение 18), которая дается в ТВАЗ. Знак поправки зависит от путевого пеленга первого светила и указан в таблице. Величина поправки в таблице рассчитана для промежутка времени между измерениями высот светил, равного 3 мин, который наиболее часто встречается в практике. При других значениях промежутка времени поправка  $E$  определяется интерполированием ее табличного значения. Поправка  $E$  алгебраически прибавляется к измеренной высоте первой звезды:

$$h_{\text{испр.}} = h_{\text{изм.}} + (\pm E).$$

Когда место самолета определяется по двум звездам, одна из которых Полярная, то учет поправки за перемещение самолета отличается от рассмотренного.

При таком сочетании звезд принято первой измерять высоту выбранной звезды, а затем высоту Полярной. В этом случае для сокращения и упрощения расчетов поправку за перемещение самолета учитывают в высоту Полярной. При таком учете поправки место самолета получается определенным к моменту измерения высоты первой звезды. Поправка за перемещение самолета к высоте Полярной обозначается буквой  $D$  и определяется по формуле

$$D = \frac{W \Delta t \cos \text{ПП}}{1,852} = \frac{W \Delta t \cos \text{ИПУ}}{1,852}.$$

Азимут Полярной звезды всегда близок к  $360^\circ$ , поэтому ее путевой пеленг  $\text{ПП} = 360^\circ - \text{ИПУ}$ . Но так как  $\cos \text{ПП} = \cos(360^\circ - \text{ИПУ}) = \cos \text{ИПУ}$ , получаем, что поправку  $D$  можно определять без нахождения путевого пеленга Полярной, что упрощает расчет. Поправка  $D$  определяется по специальной таблице (см. приложение 19), которая приводится в ТВАЗ. Знак поправки зависит от ИПУ и указан в таблице. Величина поправки в таблице дается для промежутка времени между измерениями высот светил, равного 3 мин.

Поправка  $D$  алгебраически прибавляется к измеренной высоте Полярной звезды:  $h_{\text{испр.}} = h_{\text{изм. пол.}} + (\pm D)$ . Учетом поправки  $D$  достигается приведение рассчитанной широты места самолета по Полярной звезде к моменту измерения высоты первой звезды.

Для определения поправки  $D$  можно использовать таблицу поправок  $E$ , в которую необходимо входить с ИПУ, и найденную поправку брать с противоположным знаком.

**Поправка за прецессию и нутацию оси Земли** ( $A, l$ ). Ось вращения Земли непрерывно изменяет свое направление в пространстве. Это движение, называемое прецессией, происходит за счет действия сил тяготения Солнца и Луны на Землю. Солнце и Луна, располагаясь выше или ниже небесного экватора, создают неравномерное притяжение различных частей Земли. В результате этого возникает момент силы, который стремится привести ось вращения Земли в вертикальное положение по отношению к плоскости орбиты Земли. Но так как Земля вращается, то этот момент силы вместо того, чтобы поворачивать земную ось до совмещения плоскости экватора с плоскостью эклиптики, вызывает ее прецессию. Вследствие прецессии земная ось медленно описывает в пространстве конус, оставаясь все время наклоненной к плоскости орбиты Земли под углом около  $66,5^\circ$ . Поэтому полюсы мира тоже перемещаются среди звезд, совершая полный оборот примерно за 26 000 лет. Они описывают вокруг полюсов эклиптики малые круги радиусом приблизительно в  $23,5^\circ$ .

Прецессионное движение земной оси определяет среднее направление ее в пространстве в различные эпохи.

Северный полюс мира перемещается по небесной сфере от востока к западу, т. е. навстречу годовому движению Солнца по эклиптике. Но так как притяжение планет вызывает изменение положения плоскости орбиты Земли в пространстве, а следовательно, и положения плоскости эклиптики и ее полюсов, то кривые, описываемые полюсами мира, не замыкаются (рис. 7.10).

В настоящее время Северный полюс мира приближается к Полярной звезде. Он сейчас расположен от нее на угловом расстоянии менее  $1^\circ$ . В 2100 г. это расстояние уменьшится до  $28'$ . Затем Северный полюс мира будет удаляться от Полярной. Через 5500 лет он приблизится к звезде  $\alpha$  Цефея, а через 11 500 лет он будет находиться вблизи

самой яркой звезды северной небесной полусферы — Веги ( $\alpha$  Лирь). Для наших отдаленных потомков звезда Вега, которая сейчас находится от полюса мира на удалении около  $50^\circ$ , станет «полярной звездой».

В результате изменения направления оси вращения Земли в пространстве происходит медленное изменение вида звездного неба для данного места на Земле. Некоторые видимые сейчас звезды станут невосходящими светилами, а некоторые невидимые теперь звезды будут восхо-

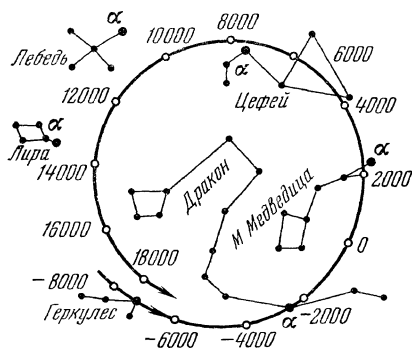


Рис. 7.10. Прецессионное движение Северного полюса мира среди звезд



дить и заходить. Например, через 13 000 лет в средних северных широтах нельзя будет увидеть самую яркую звезду неба Сириус, но зато станет наблюдаться невидимый теперь Южный Крест.

Вместе с изменением направления оси мира меняется и положение небесного экватора. Движение оси мира по конической поверхности перемещает небесный экватор по эклиптике, непрерывно сдвигая точки равноденствий среди звезд к западу. Величина перемещения точек равноденствия за год составляет около  $50,3''$ .

Так как смещение точки весеннего равноденствия направлено навстречу видимому годовому движению Солнца по эклиптике, то Солнце ежегодно приходит в эту точку примерно на 20 мин раньше, чем если бы она была неподвижной. Это явление в астрономии называется предварением равноденствия.

По этой причине промежуток времени между последовательными прохождением центра Солнца через точку весеннего равноденствия, называемый тропическим годом, короче периода обращения Земли вокруг Солнца относительно звезд, называемого звездным годом. Разницу между этими годами учитывают при летоисчислении, которое ведется по тропическим годам.

Кроме прецессии, ось вращения Земли совершает небольшие колебания, которые называются нутацией. Нутация земной оси возникает потому, что прецессионные силы Солнца и Луны непрерывно меняют свою величину и направление. Когда Солнце и Луна находятся в плоскости экватора Земли, эти силы равны нулю, а при наибольшем удалении этих светил от него достигают максимума. Вследствие нутации земной оси полюсы мира описывают на небесной сфере эллипсы, большие оси которых равны  $18,42''$  и направлены всегда к полюсам эклиптики, а малые оси —  $13,72''$ . Период нутационного колебания земной оси равен 18,6 года. В результате прецессии и нутации земной оси полюсы мира описывают на небе сложные волнистые линии.

Прецессия и нутация вызывают непрерывное изменение экваториальных координат небесных светил. Склонение и прямое восхождение звезд изменяется очень медленно, поэтому в практике авиационной астрономии в течение года их считают постоянными.

Для Солнца, Луны и планет эти изменения значительно больше, так как эти светила расположены ближе к Земле, чем звезды. Изменение координат звезд вызывается также собственным движением их по небесной сфере. Изменения координат вследствие прецессии и нутации земной оси и собственного движения звезд вызывают необходимость переиздания ААЕ и ТВАЗ. Частое переиздание расчетных таблиц представляет определенную трудность. Поэтому к ТВАЗ дается специальная таблица поправок за прецессию и нутацию (см. приложение 21), позволяющая пользоваться расчетными таблицами в течение ряда лет. Поправку за прецессию и нутацию определяют для соответствующего

года по значению местного звездного времени наблюдения и приближенной широте места. В таблице указан азимут  $A$ , в направлении которого должна смещаться АЛП или место самолета, и величина смещения  $l$ .

**Пример.** Звездное местное время  $S_M = 150^\circ$ ; приближенная широта места  $\varphi_c = 50^\circ$ . Определить поправку за прецессию и нутацию на 1975 г.

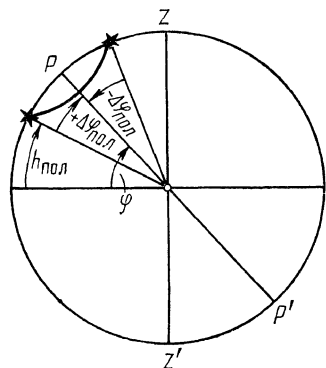
**Решение.** По таблице (см. приложение 21) по местному звездному времени и широте места находим:  $A = 120^\circ$ ;  $l = 5$  км.

**Поправка к высоте Полярной звезды  $\Delta\varphi_{\text{пол}}$ .** В авиации широко применяется способ определения широты места по высоте Полярной звезды. Ранее было доказано, что высота полюса мира равна широте места наблюдателя. Но измерить его высоту секстантом нельзя, так как положение полюса мира на небесной сфере ничем не обозначено. Ближайшей звездой к Северному полюсу мира является Полярная, которая в настоящее время удалена от него менее чем на  $1^\circ$ . Хотя это угловое расстояние и невелико, но оно приводит к тому, что Полярная звезда подобно другим звездам участвует во вращении небесной сферы. Она движется вокруг полюса мира по своей суточной параллели, вследствие чего ее высота в течение суток непрерывно изменяется. Следовательно, измеренная высота Полярной звезды непосредственно не равна широте места наблюдателя.

Для точного определения широты места необходимо в измеренную высоту Полярной звезды ввести специальную поправку  $\Delta\varphi_{\text{пол}}$ . На рис. 7.11 показана небесная сфера с суточной параллелью Полярной. Из этого рисунка видно, что в моменты верхней и нижней кульминаций Полярной звезды поправка  $\Delta\varphi_{\text{пол}}$  достигает максимальной величины и равна ее полярному расстоянию. Поправки к измеренной высоте Полярной звезды даны в ТВАЗ в зависимости от местного звездного времени, учитывающего ее положение относительно полюса мира.

Широта места наблюдателя по измеренной высоте Полярной звезды определяется по формуле

$$\varphi = h_{\text{пол}} + (\pm C) - r + (\pm \Delta\varphi_{\text{пол}}).$$



Способ определения широты места наблюдателя по высоте Полярной звезды наряду с простотой имеет еще одно весьма важное преимущество. Вследствие медленного изменения высоты Полярной звезды не требуется точно фиксировать момент измерения ее высоты. Для Полярной звезды допускается фиксировать момент измерения ее высоты с точностью до 4 мин, при этом ошибка в определении  $\Delta\varphi_{\text{пол}}$  будет не больше  $1'$ .

Рис. 7.11. Поправка к высоте Полярной

## 6. РАСЧЕТ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРОКЛАДКА ИХ НА КАРТЕ

В авиационной астрономии расчет АЛП делится на три группы: по Солнцу, Луне и планетам; по звездам и по Полярной звезде.

Каждая группа расчетов имеет некоторые особенности вычислений.

В практике применяются два метода расчета АЛП. Первый метод предусматривает производство расчета после измерения высоты светила, а второй предполагает предварительный расчет некоторых элементов АЛП до полета. Применение этих методов зависит главным образом от условий полета и опытности штурмана.

Расчет АЛП несложный, но объемный и на его выполнение затрачивается 3—5 мин. Это требует от штурмана умения быстро производить астрономические расчеты и применять предвычисления, значительно ускоряющие эти расчеты в полете.

**Расчет АЛП по Солнцу, Луне и планетам.** Для расчета АЛП имеется специальный бланк (табл. 7.1), применение которого ускоряет производство расчетов и предотвращает допущение грубых ошибок.

Рассмотрим на примерах порядок расчета АЛП по Солнцу, Луне и планетам. Порядок работы разберем для случая, когда расчет АЛП производится полностью в полете после измерения высоты светила. Предвычисление некоторых элементов АЛП до полета изложено в гл. 8.

**Пример 1.** Дата полета 20 августа 1975 г.; светило — Солнце; высота полета  $H = 5000$  м; ИПУ =  $70^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 500$  км/ч; время измерения высоты Солнца с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма  $T = 10$  ч 15 мин 40 с; измеренная высота Солнца  $h_{\text{изм}} = 41^\circ 46'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$ ;  $\lambda_{\text{п}} = 31^\circ$  в; поправка секстанта  $C = +3'$ .

Расчитать АЛП по Солнцу. Результаты расчетов приведены в табл. 7.1.

Порядок расчета АЛП по Солнцу:

до измерения высоты Солнца записать в бланк (см. табл. 7.1) дату, название светила, высоту полета, ИПУ, путевую скорость самолета, номер часового пояса, по времени которого идут часы, и поправку секстанта;

измерить высоту Солнца и записать время измерения с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма секстанта;

записать измеренную высоту Солнца, отсчитанную по шкалам секстанта;

Расчитать гринвичское время измерения:

$T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 10$  ч 15 мин 40 с — 3 ч = 7 ч 15 мин 40 с;

выписать из ААЕ (см. приложение 5) для заданной даты и целого числа часов гринвичский часовой угол Солнца:  $t'_{\text{гр}} = 284^\circ 07'$ ;

## Бланк для расчета элементов астрономической линии положения

Дата	20.8.1975	20.8.1975	22.12.1975	21.8.1975	21.8.1975
Светило	Солнце	Луна	Марс	Альтаир	Полярная
$H$ , м	5000	6000	5000	9000	7000
ИПУ, °	70	240	150	100	140
$W$ , км/ч	500	600	550	800	700
ПП					
$T$	10.15,40	23.42,48	4.12,24	0.45,32	2.12,16
$N_{\text{ч}}$	3	3	3	3	3
$T_{\text{ГР}}$	7.15,40	20.42,48	1.12,24	21.45,32	23.12,16
$t'_{\text{ГР}}(S'_{\text{ГР}})$	284°07'	311°23'	25°31'	283°34'	313°39'
$\Delta t_{\text{ГР}}(\Delta S_{\text{ГР}})$	3°55'	10°24'	3°06'	11°25'	3°04'
$t_{\text{ГР}}(S_{\text{ГР}})$	288°02'	321°47'	28°37'	294°59'	316°43'
$\lambda_{\text{П}}$	31°58'	30°13'	31°23'	30°01'	30°17'
$t_{\text{М}}(S_{\text{М}})$	320°/40° В	352°/8° В	60°	325°	347°
$\varphi_{\text{П}}$	48°	48°	48°	48°	48°
$\delta$	+13°—22'	—11°—11'	+26°+04'		
$h_{\text{ИЗМ}}$	41°46'	29°20'	38°58'	44°44'	
$C$	+3'	—5'	+4'	—3'	
$r$	—1'	—1'	—1'	0'	
$P$		+48'			
$E$					
$q$ , км	10	12	11	16	14
$h_{\text{ИСПР}}$	41°48'	30°02'	39°01'	44°41'	
$h_{\text{В}}$	41°31'	30°23'	38°50'	44°23'	
$\Delta h$ ,'	+17	—21	+11	+18	

Дата	20.8.1975	20.8.1975	22.12.1975	21.8.1975	21.8.1975
$\Delta h$ , км	+31	-39	+20	+33	
$A$ , °	123	171	267	220	
$A/l$				50°/3 км	60°/4 км
МС					
Полярная					
$h_{\text{пол}}$					48°35'
$C$					+4'
$r$					0'
$D$					
$\Delta\varphi_{\text{пол}}$					-37'
$\varphi$					48°02'
МС					

выбрать из ААЕ склонение Солнца и записать его в виде алгебраической суммы целых градусов и числа минут, не превышающего 30:  $\delta = +12^\circ 38' = +13^\circ - 22'$ ;

определить по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку в гринвичский часовой угол за минуты и секунды времени:  $\Delta t_{\text{гр}} = 3^\circ 55'$ ;

рассчитать гринвичский часовой угол Солнца для момента измерения высоты:  $t_{\text{гр}}^3 = t'_{\text{гр}} + \Delta t_{\text{гр}} = 284^\circ 0,7' + 3^\circ 55' = 288^\circ 02'$ ;

записать долготу счислимой точки с таким расчетом, чтобы местный часовой угол Солнца получился целым четным числом градусов:  $\lambda_{\text{ш}} = 31^\circ 58'$ ;

рассчитать местный часовой угол Солнца:  $t_{\text{м}}^3 = t_{\text{гр}}^3 \pm \lambda_{\text{ш}}^{\text{в}} = 288^\circ 02' + 31^\circ 58' = 320^\circ$ .

Если местный часовой угол окажется больше  $180^\circ$ , то перевести его в восточный:  $t_{\text{м}}^{\text{в}} = 360^\circ - t_{\text{м}}^3 = 360^\circ - 320^\circ = 40^\circ$ ;

записать широту счислимой точки в целых четных градусах:  $\varphi_{\text{ш}} = 48^\circ$ ;

определить по ТВА (см. приложения 6 и 11) вычисленную высоту и азимут в счислимой точке:

$h_{\text{табл}} = 41^\circ 49'$ ;  $f = 8$ ;  $A = 123^\circ$ ;  $\Delta h\delta = -18'$ ;  $h_{\text{в}} = 41^\circ 31'$ .

При определении азимута светила по таблицам руководствуются следующим: если часовой угол светила восточный, навигацион-

ный азимут равен табличному; если часовой угол светила западный, навигационный азимут светила равен дополнению табличного до  $360^\circ$ ;

выписать из таблицы (см. приложение 16) поправку за рефракцию:  $r = -1'$ ;

вычислить исправленную высоту:

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r = 41^\circ 46' + 3' - 1' = 41^\circ 48';$$

определить разность высот:

$$\Delta h = h_{\text{испр}} - h_{\text{в}} = 41^\circ 48' - 41^\circ 31' = +17';$$

перевести полученную разность высот по таблице (см. приложение 20) в километры:  $\Delta h = +31$  км. Такой перевод можно выполнить и без таблицы по следующему правилу: разность высот в километрах равна удвоенной разности высот в минутах дуги минус 2 км на каждые  $10'$ ;

выписать из таблицы (см. приложение 17) поправку за вращение Земли. Для условий задачи она равна  $q = 10$  км.

Для прокладки рассчитанной АЛП на карте необходимо:

нанести на карту (рис. 7.12) по координатам счислимую точку;

отложить от счислимой точки азимут светила и на линии азимута разность высот в километрах: в направлении на светило, если  $\Delta h$  положительна, и в направлении от светила, если  $\Delta h$  отрицательна;

через конец отложенного отрезка провести перпендикулярно к линии азимута АЛП;

сместить проложенную АЛП параллельно самой себе на величину поправки за вращение Земли по направлению перпендикуляра к линии пути. В Северном полушарии смещение производится вправо от линии пути, а в Южном — влево. Смещенная АЛП и будет линией положения, на которой находился самолет в момент измерения высоты Солнца.

**Пример 2.** Дата полета 20 августа 1975 г.; светило — Луна; высота полета  $H = 5000$  м; ИПУ =  $250^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 600$  км/ч; время измерения высоты Луны с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма  $T = 23$  ч 42 мин 48 с; измеренная высота Луны  $h_{\text{изм}} = 29^\circ 20'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 30^\circ$  в; поправка секстанта  $C = -5'$ .

Рассчитать АЛП по Луне. Результаты расчетов приведены в табл. 7.1.

Расчет АЛП по Луне в основном такой же, как и расчет по Солнцу. Однако вследствие неравномерности и сравнительно быстрого изменения экваториальных координат Луны приходится более строго производить их ин-

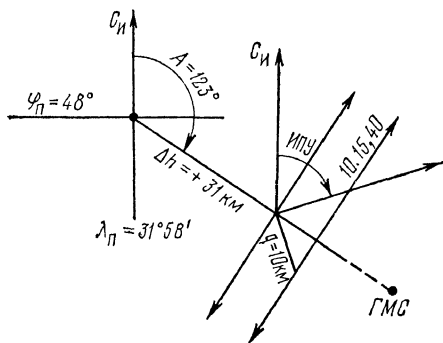


Рис. 7.12. Прокладка АЛП по Солнцу

терполирование по времени, что делает расчет более трудоемким. Для интерполирования экваториальных координат в ААЕ имеются специальные таблицы, пользование которыми требует предварительного определения квазиразности и часовой разности склонения. Вследствие близости Луны к Земле приходится при расчете исправленной высоты дополнительно учитывать поправку за параллакс.

Порядок расчета АЛП по Луне:

записать в расчетный бланк дату, название светила, навигационные элементы полета и поправку секстанта;

измерить высоту Луны и записать время измерения и измеренную высоту;

рассчитать гринвичское время измерения:

$$T_{\text{ГР}} = T - N_{\text{ч}} = 23 \text{ ч } 42 \text{ мин } 48 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 20 \text{ ч } 42 \text{ мин } 48 \text{ с};$$

выписать из ААЕ гринвичский часовой угол Луны за целое число часов:  $t_{\text{ГР}} = 311^{\circ}23'$ .

выбрать из ААЕ склонение Луны:  $\delta' = -11^{\circ}18'$ ;

выбрать из ААЕ квазиразность и часовую разность склонения Луны:  $\Delta = +15'$ ;  $\Delta = +10'$ ;

определить по интерполяционным таблицам для Луны поправку к гринвичскому часовому углу за минуты и секунды времени:

$$\Delta t_{\text{ГР}} = \Delta t_{\text{ГР}_1} + \Delta t_{\text{ГР}_2} = 10^{\circ}13' + 11' = 10^{\circ}24';$$

определить по интерполяционным таблицам для Луны поправку к склонению за минуты времени:  $\Delta\delta = +7'$ ;

определить склонение Луны и записать его так, чтобы число минут не превышало 30:

$$\delta = \delta' + (\pm\Delta\delta) = -11^{\circ}18' + (+7') = -11^{\circ}11' = -11^{\circ} - 11';$$

рассчитать гринвичский часовой угол Луны для момента измерения высоты:

$$t_{\text{ГР}} = t'_{\text{ГР}} + \Delta t_{\text{ГР}} = 311^{\circ}23' + 10^{\circ}24' = 321^{\circ}47';$$

записать широту и долготу счислимой точки, которая должна располагаться в районе предполагаемого местонахождения самолета. При этом широту счислимой точки выбирают целой и четной, а долготу такой, чтобы она в сумме с гринвичским часовым углом давала бы целое и четное значение местного часового угла:  $\varphi_{\text{п}} = 48^{\circ}$ ;  $\lambda_{\text{п}} = 30^{\circ}13'$ ;

рассчитать местный часовой угол Луны:

$$t_{\text{м}}^{\text{а}} = t_{\text{ГР}}^{\text{а}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} = 321^{\circ}47' + 30^{\circ}13' = 352^{\circ}; \quad t_{\text{м}}^{\text{в}} = 360^{\circ} - 352^{\circ} = 8^{\circ};$$

определить по ТВА вычисленную высоту и азимут Луны в счислимой точке:  $h_{\text{табл}} = 30^{\circ}34'$ ;  $f = 10$ ;  $A = 171^{\circ}$ ;  $\Delta h\delta = -11'$ ;  $h_{\text{в}} = 30^{\circ}23'$ ;

выписать из таблицы поправку за рефракцию:  $r = -1'$ ;

выписать из ААЕ поправку за параллакс:  $P = +48'$ ;

вычислить исправленную высоту:

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r + P = 29^{\circ}20' - 5' - 1' + 48' = 30^{\circ}02';$$

определить разность высот:

$$\Delta h = h_{\text{испр}} - h_{\text{в}} = 30^{\circ}02' - 30^{\circ}23' = -21'.$$

перевести полученную разность высот в километры:  $\Delta h = -39$  км;

выписать из таблицы поправку за вращение Земли:  $q = 12$  км. проложить на карте АЛП, как это показано на рис. 7.13.

**Пример 3.** Дата полета 22 декабря 1975 г.; светило — планета Марс; высота полета  $H = 5000$  м; ИПУ =  $150^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 550$  км/ч; время измерения высоты Марса с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма  $T = 4$  ч 12 мин 24 с; измеренная высота Марса  $h_{\text{изм}} = 38^{\circ}58'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета  $\varphi_{\text{п}} = 48^{\circ}$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 31^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = +4'$ .

Рассчитать АЛП по планете Марс. Результаты расчетов приведены в табл. 7.1. Расчет АЛП по планетам аналогичен расчету по Солнцу. Здесь он рассмотрен с целью приобретения навыков в расчетах и запоминания порядка их выполнения.

Порядок расчета АЛП по планете:

записать в расчетный бланк исходные данные;

измерить высоту планеты и записать время измерения и измеренную высоту;

рассчитать гринвичское время измерения:

$$T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 4 \text{ ч } 12 \text{ мин } 24 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 1 \text{ ч } 12 \text{ мин } 24 \text{ с};$$

выписать из ААЕ гринвичский часовой угол Марса за целые часы:  $t'_{\text{гр}} = 25^{\circ}31'$ ;

выбрать из ААЕ склонение Марса и записать его так, чтобы число минут не превышало 30:  $\delta = +26^{\circ}04' = +26^{\circ} + 04'$ ;

определить по интерполяционным таблицам поправку в гринвичский часовой угол за минуты и секунды времени:  $\Delta t_{\text{гр}} = 3^{\circ}06'$ ;

рассчитать гринвичский часовой угол Марса для момента измерения высоты:  $t_{\text{гр}}^{\text{в}} = t'_{\text{гр}} + \Delta t_{\text{гр}} = 25^{\circ}31' + 3^{\circ}06' = 28^{\circ}37'$ ;

записать широту и долготу счислимой точки. Широту берут в целых четных градусах, а долготу выбирают с таким расчетом, чтобы она дополняла гринвичский часовой угол до целого четного числа градусов:

$$\varphi_{\text{п}} = 48^{\circ}; \quad \lambda_{\text{п}} = 31^{\circ}23';$$

рассчитать местный часовой угол Марса:

$$t_{\text{м}}^{\text{в}} = t_{\text{гр}}^{\text{в}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} = 28^{\circ}37' + 31^{\circ}23' = 60^{\circ};$$

определить по ТВА высоту и азимут Марса в счислимой точке:

$$h_{\text{та бл}} = 38^{\circ}47'; \quad f = 7; \quad A_{\text{та бл}} = 93^{\circ};$$

$$\Delta h \delta = +3'; \quad h_{\text{в}} = 38^{\circ}50'.$$

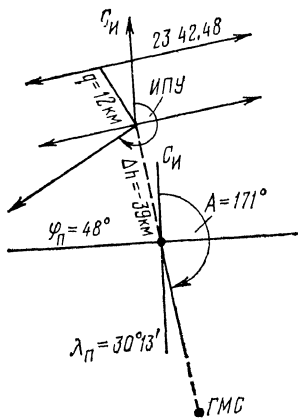


Рис. 7.13. Прокладка АЛП по Луне



Поскольку часовой угол Марса западный, то навигационный азимут равен дополнению табличного до  $360^\circ$ .  $A = 360^\circ - 93^\circ = 267^\circ$ ; выписать из таблицы поправку за рефракцию:  $r = -1'$ . вычислить исправленную высоту:

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r = 38^\circ 58' + 4' - 1' = 39^\circ 01';$$

определить разность высот:

$$\Delta h = h_{\text{испр}} - h_{\text{в}} = 39^\circ 01' - 38^\circ 50' = +11';$$

перевести полученную разность высот в километры:  $\Delta h = +20$  км;

выписать из таблицы поправку за вращение Земли. Для условий задачи она равна  $q = 11$  км;

выполнить прокладку АЛП на карте аналогично порядку, указанному выше.

**Расчет АЛП по звездам.** Этот расчет имеет некоторые особенности. Он ведется с применением таблиц и азимутов звезд ТВАЗ. Пользование этими таблицами требует определения местного звездного времени. Высоты и азимуты звезд, вычисленные по ТВАЗ, не требуют внесения никаких поправок.

**Пример.** Дата полета 21 августа 1975 г.; светило — звезда Альтаир; высота полета  $H = 9000$  м; ИПУ =  $100^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 800$  км/ч; время измерения высоты звезды с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма  $T = 0$  ч 45 мин 32 с; измеренная высота звезды Альтаир  $h_{\text{изм}} = 44^\circ 44'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 30^\circ$  в; поправка секстанта  $C = -3'$ .

Расчитать АЛП по звезде Альтаир. Результаты расчета приведены в табл. 7.1.

Порядок расчета АЛП по звезде:

до измерения высоты намеченной звезды записать в расчетный бланк дату, название звезды, высоту полета, путевой угол, путевую скорость самолета, номер часового пояса, по времени которого идут часы, и поправку секстанта;

измерить высоту звезды и записать время измерения с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма секстанта;

записать измеренную высоту звезды, снятую со шкал секстанта;

расчитать гринвичское время измерения и установить, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 0 \text{ ч } 45 \text{ мин } 32 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 21 \text{ ч } 45 \text{ мин } 32 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича 20 августа;

выписать из ААЕ (см. приложение 5) для соответствующей даты и целого числа часов гринвичское звездное время:  $S'_{\text{гр}} = 283^\circ 34'$ ;

определить по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку в гринвичское звездное время за минуты и секунды времени:  $\Delta S'_{\text{гр}} = 11^\circ 25'$ ;

рассчитать гринвичское звездное время для момента измерения высоты:  $S_{гр} = S'_{гр} + \Delta S_{гр} = 283^{\circ}34' + 11^{\circ}25' = 294^{\circ}59'$ ;

записать широту и долготу счислимой точки. Широта должна быть целой и четной, а долгота такой, чтобы в сумме с гринвичским звездным временем она дала целое значение местного звездного времени:  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$ ;  $\lambda_{п} = 30^{\circ}01'$ ;

рассчитать местное звездное время:

$$S_{м} = S_{гр} \pm \lambda_{п}^B = 294^{\circ}59' + 30^{\circ}01' = 325^{\circ};$$

определить по ТВАЗ (см. приложение 7) вычисленную высоту и азимут звезды Альтаир:  $h_{в} = 44^{\circ}23'$ ;  $A = 220^{\circ}$ ;

выписать из таблицы (см. приложение 16) поправку за рефракцию:  $r = 0'$ ;

вычислить исправленную высоту:

$$h_{испр} = h_{изм} + (\pm C) - r = 44^{\circ}44' + (-3') - 0' = 44^{\circ}41';$$

определить разность высот:

$$\Delta h = h_{испр} - h_{в} = 44^{\circ}41' - 44^{\circ}23' = +18';$$

перевести по таблице (см. приложение 20) полученную разность высот в километры:  $\Delta h = +33$  км;

выписать из таблицы (см. приложение 17) поправку за вращение Земли:  $q = 16$  км;

выписать из таблицы (см. приложение 21) поправку за прецессию и нутацию:  $A = 50^{\circ}$ ;  $l = 3$  км;

выполнить прокладку АЛП на карте, как это показано на рис. 7.14.

**Расчет АЛП по Полярной звезде.** Измерение высоты Полярной звезды так же, как и любой другой, дает астрономическую линию положения. Но расчет АЛП по Полярной звезде по сравнению с расчетом по другим светилам является наиболее простым. Он не требует вычисления азимута Полярной, так как вследствие малого удаления ее от полюса мира азимут Полярной до широты  $76^{\circ}$  пренебрегается равным 0.

Прокладка АЛП по Полярной звезде производится без нанесения счислимой точки на карту, что является несомненным преимуществом обработки измеренной высоты Полярной.

**Пример.** Дата полета 21 августа 1975 г.; светило — Полярная звезда; высота полета  $H = 7000$  м; ИПУ =  $140^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; время измерения высоты Полярной с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма  $T = 2$  ч 12 мин 16 с; измеренная высота Полярной  $h_{изм} = 48^{\circ}35'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{ч} = 3$ , приближенная долгота места самолета  $\lambda_{п} = 30^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = +4'$ .

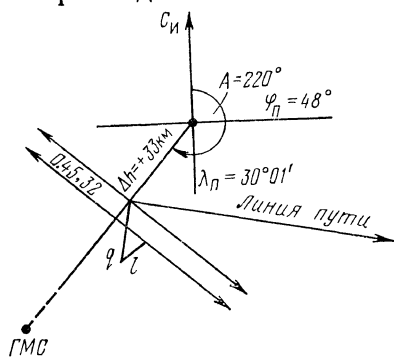


Рис. 7.14. Прокладка АЛП по звезде

Рассчитать АЛП по Полярной звезде. Результаты расчета приведены в табл. 7.1.

Порядок расчета АЛП по Полярной звезде: записать в расчетный бланк исходные данные;

измерить высоту Полярной звезды и записать время измерения с учетом поправки часов и половины времени работы осредняющего механизма и измеренную высоту;

рассчитать гринвичское время измерения и установить, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 2 \text{ ч } 12 \text{ мин } 16 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 23 \text{ ч } 12 \text{ мин } 16 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича 20 августа;

выписать из ААЕ (см. приложение 5) для соответствующей даты и целого числа часов гринвичское звездное время:  $S'_{\text{гр}} = 313^{\circ}39'$ ;

определить по интерполяционным таблицам (см. приложение 10) поправку в гринвичское звездное время за минуты и секунды времени:  $\Delta S_{\text{гр}} = 3^{\circ}04'$ ;

рассчитать гринвичское звездное время для момента измерения высоты:  $S_{\text{гр}} = S'_{\text{гр}} + \Delta S_{\text{гр}} = 313^{\circ}39' + 3^{\circ}04' = 316^{\circ}43'$ ;

записать приближенную долготу, выбрав ее в районе полета так, чтобы она в сумме с гринвичским звездным временем давала целое число градусов:  $\lambda_{\text{п}} = 30^{\circ}17'$ ;

рассчитать местное звездное время:

$$S_{\text{м}} = S_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} = 316^{\circ}43' + 30^{\circ}17' = 347^{\circ}.$$

выписать из ТВАЗ (см. приложение 7) по приближенной широте и местному звездному времени поправку к измеренной высоте Полярной звезды. При определении указанной поправки за приближенную широту наблюдателя принимают округленную величину измеренной высоты Полярной звезды. Округление производят так, чтобы широта выражалась целым четным числом градусов:  $\varphi_{\text{п}} = 48^{\circ}$ ;  $\Delta\varphi_{\text{пол}} = -37'$ ;

учетом найденной поправки измеренная высота Полярной звезды приводится к высоте полюса мира;

выписать из таблицы (см. приложение 16) поправку за рефракцию:  $r = 0'$ ;

определить широту места по измеренной высоте Полярной звезды:  $\varphi = h_{\text{пол}} + (\pm C) - r + (\pm \Delta\varphi_{\text{пол}}) = 48^{\circ}35' + (+4') - 0' + +(-37') = 48^{\circ}02'$ ;

выписать из таблиц (см. приложения 17 и 21) поправки за вращение Земли, прецессию и нутацию:  $q = 14 \text{ км}$ ;  $A = 60^{\circ}$ ;  $l = 4 \text{ км}$ ;

проложить на карте АЛП в виде отрезка параллели, соответствующей найденной широте. Отрезок параллели прокладывается в районе предполагаемого места самолета;

учесть поправки за вращение Земли, прецессию и нутацию путем смещения проложенной АЛП. Смещенная АЛП будет являться линией положения, на которой находился самолет в момент измерения высоты Полярной звезды.

Рассмотренный метод прокладки АЛП по Полярной звезде применяется до широты  $76^\circ$ . На широтах более  $76^\circ$  в прокладке АЛП этим методом возникает ошибка за счет того, что азимут Полярной может отличаться от 0 в зависимости от ее местного часового угла до  $5-15^\circ$ . Кроме того, на больших широтах измерять высоту Полярной звезды секстантом очень трудно, так как она находится почти в зените. Поэтому в ТВАЗ поправки к высоте Полярной даны до широты  $76^\circ$ . При полетах в полярных районах АЛП определяют по хорошо наблюдаемым светилам, а их расчет и прокладку производят по специальной методике.

## 7. РАСЧЕТ И ПРОКЛАДКА АЛП В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ ЗЕМЛИ

Метод расчета АЛП с использованием Таблиц высот и азимутов светил и ее прокладку на карте с выбором определенных координат счислимой точки практически можно применять до широты  $88^\circ$ . Но более удобно при полетах выше  $75^\circ$  использовать другую методику расчета и прокладки АЛП, которая значительно облегчает и ускоряет процесс обработки измеренных высот светил. В полярных районах близость географических полюсов позволяет брать их за счислимые точки. На полюсах Земли плоскость истинного горизонта совпадает с плоскостью небесного экватора, а любое направление — с меридианом. Поэтому для полюсов Земли вычисленная высота светила равна его склонению, а линия азимута совпадает с меридианом географического места светила (ГМС). Эта особенность точек полюсов позволяет при расчете АЛП обходиться без Таблиц высот и азимутов светил.

Порядок расчета и прокладки АЛП в этом случае следующий: измерить высоту светила и исправить ее на величину поправки секстанта и рефракции, а для Луны учесть еще и величину параллакса;

определить с помощью ААЕ для момента измерения гринвичский часовой угол и склонение светила;

определить долготу географического места светила (ГМС) по формуле

$$\lambda_{\text{ГМС}}^3 = t_{\text{ГР}}^3, \text{ а если } t_{\text{ГР}}^3 > 180^\circ, \text{ то } \lambda_{\text{ГМС}}^3 = 360^\circ - t_{\text{ГР}}^3;$$

найти разность между исправленной высотой и склонением светила:  $\Delta h = h_{\text{испр}} - \delta$ ;

отложить от точки полюса (рис. 7.15) по меридиану ГМС величину  $\Delta h$  в километрах в сторону ГМС при положительной  $\Delta h$  и в сторону, противоположную ГМС, при отрицательной  $\Delta h$ ;

через полученную точку провести АЛП перпендикулярно меридиану ГМС. Если между предполагаемым местом самолета и меридианом ГМС расстояние  $l$  больше 200 км, то необходимо уточнить положение АЛП. Для этого необходимо:

а) через предполагаемое место самолета (точка С) провести линию, параллельную меридиану ГМС;

б) продолжить АЛП до пересечения с этой линией и измерить длину отрезка АЛП между меридианом ГМС и точкой пересечения В;

в) по расстоянию  $l$  и измеренной высоте светила выбрать по специальной таблице (см. приложение 22) поправки  $\Delta h$  и  $\Delta A$  для уточнения прокладки АЛП;

г) отложить от точки В, как это показано на рис. 7.15, величины поправок  $\Delta h$  и  $\Delta A$  и через полученную точку К провести уточненную АЛП, перпендикулярно направленную на светило. Севернее широты  $88^\circ$  поправками  $\Delta h$  и  $\Delta A$  можно пренебречь. Поправки за вращение Земли и перемещение самолета (при определении места самолета по высотам двух светил) учитывают по общим правилам.

Выход самолета в точку полюса определяют по равенству  $h = \delta$ . При этом считают, что разность между исправленной высотой светила и его склонением равна оставшемуся до полюса расстоянию в минутах дуги меридиана.

**Пример.** Дата полета 20 августа 1975 г.; светило — Солнце; высота полета  $H = 6000$  м; время измерения высоты Солнца с учетом поправки часов и половина времени работы осредняющего механизма  $T = 13$  ч 06 мин 56 с; измеренная высота Солнца  $h_{\text{изм}} = 16^\circ 05'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; поправка секстанта  $C = +6'$ .

Рассчитать АЛП по Солнцу для ее прокладки от полюса.

Решение. 1. Определить гринвичское время измерения:

$$T_{\text{Гр}} = T - N_{\text{ч}} = 13 \text{ ч } 06 \text{ мин } 56 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 10 \text{ ч } 06 \text{ мин } 56 \text{ с}.$$

2. Определить с помощью ААЕ и интерполяционных таблиц (см. приложения 5 и 10) для соответствующей даты и момента измерения высоты гринвичский часовой угол и склонение Солнца:  $t_{\text{Гр}}^3 = 330^\circ 52'$ ;  $\delta = +12^\circ 35'$ .

3. Определить долготу ГМС:

$$^{\lambda}_{\text{ГМС}} = 360^\circ - t_{\text{Гр}}^3 = 360^\circ - 330^\circ 52' = +29^\circ 08'.$$

4. Определить по таблице (см. приложение 16) поправку за рефракцию:  $r = -2'$

5. Вычислить исправленную высоту:

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r = 16^\circ 05' + 6' - 2' = 16^\circ 09'.$$

6. Определить разность между исправленной высотой и склонением Солнца:  $\Delta h = h_{\text{испр}} - \delta = 16^\circ 09' - 12^\circ 35' = +3^\circ 34'$ .

7. Перевести полученную разность с помощью таблицы (см. приложение 20) в километры:  $\Delta b = +396$  км.

8. Отложить на карте от точки полюса по меридиану ГМС, имеющему восточную долготу  $29^\circ 08'$ , расстояние 396 км в сторону Солнца, так как  $\Delta h$  положительна.

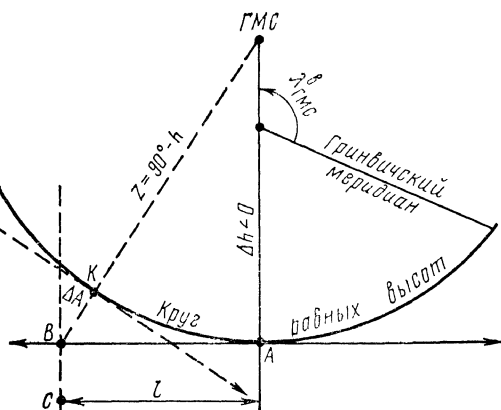


Рис. 7.15. Прокладка АЛП в полярном районе

9. Через полученную точку провести АЛП перпендикулярно меридиану географического места светила.

В Южном полушарии расчет АЛП ведется в том же порядке, что и в Северном. Существующие таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет позволяют пользоваться ими в любом полушарии. Но при пользовании этими таблицами в Южном полушарии отсчет азимута светила необходимо вести от южного направления меридиана. Направление отсчета азимута светила определяют по наименованию местного часового угла, с которым входят в ТВА. Если местный часовой угол западный, то азимут, найденный по таблицам, откладывают от точки юга к западу, а если часовой угол восточный, то к востоку.

Для расчета АЛП по звездам в Южном полушарии используются таблицы высот и азимутов звезд ТВАЗ, составленные специально для южных широт. Азимуты звезд в этих таблицах даны северо-восточные, т. е. такие, как и в таблицах для северных широт. При полетах в Южном полушарии поправку за вращение Земли откладывают влево по перпендикуляру к линии пути. Поправки за перемещение самолета, прецессию и нутацию учитывают так же, как и в Северном полушарии.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА САМОЛЕТА ПО НЕБЕСНЫМ СВЕТИЛАМ

Место самолета по небесным светилам может быть определено одним из следующих способов: по Солнцу и Луне (днем), по двум звездам, по звезде и Полярной и по планете (Луне) и звезде.

В основе метода определения места самолета по небесным светилам лежит расчет и прокладка АЛП. Место самолета получается в точке пересечения двух АЛП, отнесенных к одному моменту времени. В практике АЛП для определения места самолета могут использоваться самостоятельно или в сочетании с другими линиями положения самолета, полученными с помощью различных радиотехнических средств самолетовождения.

**Определение места самолета по Солнцу и Луне.** Этот способ применяется в дневных полетах, когда возможно одновременно наблюдать Солнце и Луну. Наблюдать Луну днем можно только в определенных ее фазах. Луна вместе с Солнцем видна в периоды первой и последней четвертей. В первой четверти Луна видна после полудня, а в последней — до полудня. Чтобы судить о взаимном положении Луны и Солнца в указанные периоды, следует знать, что в первой четверти Луна восходит около полудня, на юге бывает около 18 ч, и заходит около полуночи. В последней четверти Луна восходит в полночь, на юге бывает около 6 ч и заходит около полудня.

Выбирая светила для определения места самолета, следует учитывать, что необходимая точность его определения может быть получена только по тем светилам, разность азимутов которых лежит в пределах 30—150°.

Рассмотрим на примере порядок работы при определении места самолета по Солнцу и Луне.

**Пример.** Дата полета 27 октября 1975 г.; высота полета  $H = 8000$  м; ИПУ =  $220^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; время измерения высоты Солнца  $T = 10$  ч 15 мин 24 с; измеренная высота Солнца  $h_{\text{изм}} = 22^\circ 09'$ ; время измерения высоты Луны  $T = 10$  ч 18 мин 20 с; измеренная высота Луны  $h_{\text{изм}} = 32^\circ 04'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 31^\circ$  в; поправка секстанта  $C = -3'$ .

Определить место самолета по Солнцу и Луне. Результаты расчетов приведены в табл. 7.2.

Т а б л и ц а 7.2

Бланк для расчета элементов астрономической линии положения

Дата	27.10.1975	27.10.1975	21.8.1975	21.8.1975
Светило	Солнце	Луна	Капелла	Альферац
$H$ , м	8000	8000	7000	7000
ИПУ, $^\circ$	220	220	100	100
$W$ , км/ч	700	700	700	700
ПП, $^\circ$	282		308	
$T$	10.15,24	10.18,20	1.16,40	1.19,32
$N_{\text{ч}}$	3	3	3	3
$T_{\text{ГР}}$	7.15,24	7.18,20	22.16.40	22.19,32
$t'_{\text{ГР}} (S'_{\text{ГР}})$	289 $^\circ$ 00'	23 $^\circ$ 40'	298 $^\circ$ 37'	298 $^\circ$ 37'
$\Delta t_{\text{ГР}} (\Delta S_{\text{ГР}})$	3 $^\circ$ 51'	4 $^\circ$ 26'	4 $^\circ$ 11'	4 $^\circ$ 54'
$t_{\text{ГР}} (S_{\text{ГР}})$	292 $^\circ$ 51'	28 $^\circ$ 06'	302 $^\circ$ 48'	303 $^\circ$ 31'
$\lambda_{\text{п}}$	31 $^\circ$ 09'	31 $^\circ$ 54'	32 $^\circ$ 12'	31 $^\circ$ 29'
$t_{\text{М}} (S_{\text{М}})$	324 $^\circ$ /36 $^\circ$ в	60 $^\circ$	335 $^\circ$	335 $^\circ$
$\varphi_{\text{п}}$	48 $^\circ$	48 $^\circ$	48 $^\circ$	48 $^\circ$
$\delta$	-13 $^\circ$ +24'	+16 $^\circ$ +24'		
$h_{\text{изм}}$	22 $^\circ$ 09'	32 $^\circ$ 04'	24 $^\circ$ 14'	62 $^\circ$ 39'
$C'$	-3	-3	+4	+4
$r'$	-1	-1	-1	0
$P'$ ,		+49		

Дата	27.10.1975	27.10.1975	21.8.1975	21.8.1975
$E, '$	+3		+12	
$q, \text{ км}$	14		14	
$h_{\text{испр}}$	22°08'	32°49'	24°29'	62°42'
$h_{\text{в}}$	21°29'	32°03'	25°07'	61°57'
$\Delta h'$	+39	+46	-38	+45
$\Delta h, \text{ км}$	+72	+85	-70	+83
$A, ^\circ$	142	258	48	123
$A/l$			50°/3 км	
МС	Березовка		12 км сев. Николаева	
Полярная				
$h_{\text{пол}}$				
$C$				
$r$				
$D$				
$\Delta\varphi_{\text{пол}}$				
$\varphi$				
МС				

Порядок определения места самолета по Солнцу и Луне:

последовательно с возможно более коротким интервалом времени измерить высоты Солнца и Луны;

записать в расчетный бланк время измерений и полученные высоты;

определить гринвичское время измерений:

для Солнца  $T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 10 \text{ ч } 15 \text{ мин } 24 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 15 \text{ мин } 24 \text{ с}$ ;

для Луны  $T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 10 \text{ ч } 18 \text{ мин } 20 \text{ с} - 3 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 18 \text{ мин } 20 \text{ с}$ ;

рассчитать по ААЕ гринвичские часовые углы для моментов измерения высот:

для Солнца  $t_{\text{гр}} = 292^\circ 51'$ ;

для Луны  $t_{\text{гр}} = 28^\circ 06'$ ;

определить местные часовые углы с таким расчетом, чтобы они получились в целых четных числах градусов:



для Солнца  $t_m^3 = t_{гр} \pm \lambda_3^B = 292^\circ 51' + 31^\circ 09' = 324^\circ$ ;  $t_m^B = 36^\circ$ ;

для Луны  $t_m^3 = t_{гр} \pm \lambda_3^B = 28^\circ 06' + 31^\circ 54' = 60^\circ$ ;

выписать из ААЕ склонения и записать их так, чтобы число минут не превышало 30:

для Солнца  $\delta = -12^\circ 36' = -13^\circ + 24'$ ;

для Луны  $\delta = +16^\circ 24' = +16^\circ + 24'$ ;

определить по ТВА вычисленные высоты и азимуты:

для Солнца  $h_{табл} = 21^\circ 07'$ ;  $f = 9$ ;  $A = 142^\circ$ ;  $\Delta h \delta = +22'$ ;  $h_B = = 21^\circ 29'$ ;

для Луны  $h_{табл} = 31^\circ 46'$ ;  $f = 7$ ;  $A = 258^\circ$ ;  $\Delta h \delta = +17'$ ;  $h_B = = 32^\circ 03'$ ;

выписать из таблицы поправки за рефракцию:

для Солнца  $r = -1'$ ;

для Луны  $r = -1'$ ;

выписать из ААЕ поправку за параллакс Луны:  $P = +49'$ ;

определить путевой пеленг первого светила (Солнца) и найти по таблице поправку за перемещение самолета:

ПП = А - ИПУ =  $142^\circ + 360^\circ - 220^\circ = 282^\circ$ ;  $E = +3'$ ;

вычислить исправленные высоты:

для Солнца  $h_{испр} = h_{изм} + (\pm C) - r + (\pm E) = 22^\circ 09' + (-3') - 1' + (+3') = 22^\circ 08'$ ;

для Луны  $h_{испр} = h_{изм} + (\pm C) - r + P = 32^\circ 04' + (-3') - 1' + 49' = = 32^\circ 49'$ ;

определить разности высот и перевести их в километры:

для Солнца  $\Delta h = h_{испр} - h_B = 22^\circ 08' - 21^\circ 29' = +39' = +72$  км;

для Луны  $\Delta h = h_{испр} - h_B = 32^\circ 49' - 32^\circ 03' = +46' = +85$  км;

выписать из таблицы поправку за вращение Земли:  $q = 14$  км.

Проложить на карте АЛП и определить место самолета. Прокладка АЛП и полученное место самолета на карте (В-III) показаны на рис. 7.16.

**Определение места самолета по двум звездам.** Данный способ широко применяется в ночных полетах. Ночью возможен более широкий выбор светил для определения места самолета. При выборе звезд следует учитывать условия измерения их высот и взаимное положение. Рекомендуется выбирать такие звезды из числа звезд, указанных на страницах ТВАЗ, высоты которых наиболее удобно измерять, и чтобы разность азимутов намеченных звезд была возможно ближе к 90 или  $270^\circ$ . Наиболее удобными для измерения высот считаются те звезды, высоты которых находятся в пределах  $30-60^\circ$ .

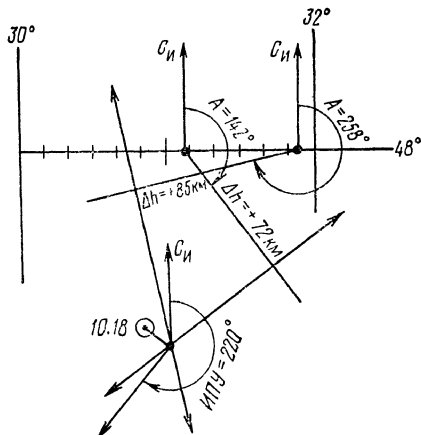


Рис. 7.16. Определение места самолета по Солнцу и Луне

Рассмотрим на примере порядок определения места самолета по двум звездам.

**Пример.** Дата полета 21 августа 1975 г.; высота полета  $H = 7000$  м; ИПУ =  $100^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; время измерения высоты звезды Капелла  $T = 1$  ч 16 мин 40 с; измеренная высота звезды Капелла  $h_{\text{изм}} = 24^\circ 14'$ ; время измерения высоты звезды Альферац  $T = 1$  ч 19 мин 32 с; измеренная высота звезды Альферац  $h_{\text{изм}} = 62^\circ 39'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 32^\circ$  в; поправка секстанта  $C = +4'$ .

Определить место самолета по двум звездам. Результаты расчетов приведены в табл. 7.2.

Порядок определения места самолета по двум звездам:

выбрать две звезды для определения места самолета;

последовательно измерить высоты выбранных звезд;

записать в расчетный бланк время измерения и полученные высоты;

определить гринвичское время измерений и установить, какая будет дата на меридиане Гринвича:

для звезды Капелла  $T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 1$  ч 16 мин 40 с + 24 ч — 3 ч = 22 ч 16 мин 40 с;

для звезды Альферац  $T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 1$  ч 19 мин 32 с + 24 ч — 3 ч = 22 ч 19 мин 32 с.

Дата на меридиане Гринвича — 20 августа;

рассчитать по ААЕ (см. приложение 5) гринвичское звездное время измерений:

для звезды Капелла  $S_{\text{гр}} = 302^\circ 48'$ ;

для звезды Альферац  $S_{\text{гр}} = 303^\circ 31'$ ;

определить местное звездное время с таким расчетом, чтобы оно получилось в целых градусах и было для обеих звезд одинаковым. В этом случае быстрее выбираются высоты и азимуты звезд из таблиц. Указанное условие достигается путем подбора соответствующей долготы счислимой точки для второго светила:

для звезды Капелла  $S_{\text{м}} = S_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} = 302^\circ 48' + 32^\circ 12' = 335^\circ$ ;

для звезды Альферац  $S_{\text{м}} = S_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{з}}^{\text{в}} = 303^\circ 31' + 31^\circ 29' = 335^\circ$ ;

определить по ТВАЗ (см. приложение 7) вычисленные высоты и азимуты:

для звезды Капелла  $h_{\text{в}} = 25^\circ 07'$ ;  $A = 48^\circ$ ;

для звезды Альферац  $h_{\text{в}} = 61^\circ 57'$ ;  $A = 123^\circ$ ;

выписать из таблицы (см. приложение 16) поправки за рефракцию:

для звезды Капелла  $r = -1'$ ; для звезды Альферац  $r = 0'$ ;

определить путевой пеленг первой звезды и найти по таблице (см. приложение 18) поправку за перемещение самолета. Учетом этой поправки измерение высоты первой звезды приводится к моменту измерения второй звезды:

$\text{ПП} = A - \text{ИПУ} = 48^\circ + 360^\circ - 100^\circ = 308^\circ$ ;  $E = +12'$ ;

вычислить исправленные высоты:

для звезды Капелла  $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r + (\pm E) = 24^\circ 14' + (+4') - 1' + (+12') = 24^\circ 29'$ ;

для звезды Альферац  $h_{испр} = h_{изм} + (\pm C) - r = 62^{\circ}39' + (+4') - 1' = 62^{\circ}42'$ ;

определить разности высот и перевести их в километры:  
 для звезды Капелла  $\Delta h = h_{испр} - h_{в} = 24^{\circ}29' - 25^{\circ}07' = -38' = -70$  км;

для звезды Альферац  $\Delta h = h_{испр} - h_{в} = 62^{\circ}42' - 61^{\circ}57' = +45' = +83$  км;

выписать из таблицы (см. приложение 17) поправку за вращение Земли:  $q = 14$  км;

выписать из таблицы (см. приложение 21) поправку за прецессию и нутацию:  $A = 50^{\circ}$ ;  $l = 3$  км;

проложить на карте АЛП (рис. 7.17), а затем сместить точку их пересечения на величины поправок за вращение Земли, прецессию и нутацию. Перенесенная точка является местом самолета для момента измерения высоты второго светила.

**Определение места самолета по звезде и Полярной.** При определении места самолета по звездам обычно используют одну из навигационных звезд совместно с Полярной. Такой выбор звезд в практике является наиболее распространенным. Он значительно упрощает и ускоряет определение места самолета по небесным светилам. При таком сочетании звезд одну АЛП рассчитывают по измеренной высоте навигационной звезды в обычном порядке, а вторую, представляющую отрезок параллели, определяют по высоте Полярной. При этом поправку к высоте Полярной для определения широты места находят по звездному времени, рассчитанному для навигационной звезды, высоту которой измеряют в первую очередь. В этом случае записи по расчету АЛП по измеренной высоте Полярной сокращаются и их выполняют в графах, которые в расчетном бланке специально выделены для вычисления широты места по высоте Полярной.

Указанная особенность нахождения поправки к высоте Полярной для определения широты места обусловлена медленным изменением высоты Полярной с течением времени. Наиболее медленно высота Полярной изменяется вблизи точек ее кульминаций. Около этих точек примерно за 15 мин высота Полярной изменяется на  $1'$ . Наиболее быстро высота Полярной изменяется вблизи точек, соответствующих часовым углам  $90$  и  $270^{\circ}$ . Вблизи их изменение высоты Полярной на  $1'$  происходит примерно в течение 4 мин. Поскольку в практике промежуток времени между измерениями высоты первой звезды и высоты Полярной обычно не превышает 3 мин, то расчет местного звездного времени специально для Полярной можно не

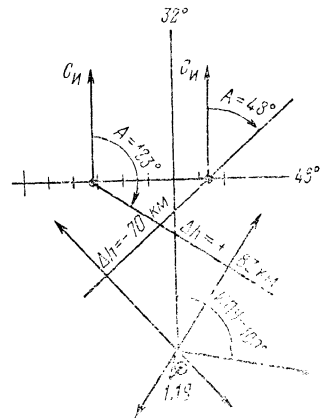


Рис. 7.17. Определение места самолета по двум звездам

производить. Поправку к высоте Полярной находят по местному звездному времени, рассчитанному для первой звезды, и это не сказывается на точности ее определения.

Другой особенностью определения места самолета по звезде и Полярной является приведение измеренных высот к одному моменту времени. В этом случае поправка за перемещение самолета вводится не в высоту первой звезды, как это обычно делается, а в высоту Полярной, которая измеряется после измерения высоты первой звезды. Поправку за перемещение самолета к высоте Полярной определяют по специальной таблице поправок  $D$  или используют таблицу поправок  $E$ , но входят в нее с путевым углом вместо путевого пеленга и найденную поправку берут с противоположным знаком.

Учетом поправки  $D$  достигается приведение высоты Полярной к моменту измерения высоты первой звезды, и поэтому место самолета определяется к более раннему моменту. Такой учет поправки за перемещение самолета в данном случае является более удобным, так как он не требует расчета путевого пеленга звезды, что сокращает вычисления.

**Пример.** Дата полета 21 августа 1975 г.; высота полета  $H = 6000$  м; ИПУ =  $= 300^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 600$  км/ч; время измерения высоты звезды Вега  $T = 1$  ч 47 мин 32 с; измеренная высота звезды Вега  $h_{\text{изм}} = 44^\circ 21'$ ; время измерения высоты Полярной  $T = 1$  ч 50 мин 28 с; измеренная высота Полярной  $h_{\text{пол}} = 49^\circ 10'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; приближенные координаты места самолета:  $\varphi_{\text{п}} = 48^\circ$  с;  $\lambda_{\text{п}} = 32^\circ$  в; поправка секстанта  $C = -3'$ .

Определить место самолета по звезде и Полярной. Результаты расчетов приведены в табл. 7.3.

Порядок определения места самолета по звезде и Полярной:

выбрать звезду для определения места самолета в паре с Полярной. Азимут выбранной звезды должен быть близким к  $90$  или  $270^\circ$ ;

измерить высоту выбранной звезды, а затем высоту Полярной;

записать время измерений и полученные высоты в расчетный бланк;

определить гринвичское время измерения высоты первой звезды и установить, какая будет дата на меридиане Гринвича:

$$T_{\text{гр}} = T - N_{\text{ч}} = 1 \text{ ч } 47 \text{ мин } 32 \text{ с} + 24 \text{ ч} - 3 \text{ ч} = 22 \text{ ч } 47 \text{ мин } 32 \text{ с}.$$

Дата на меридиане Гринвича 20 августа;

рассчитать по ААЕ (см. приложение 5) гринвичское звездное время измерения высоты первой звезды:  $S_{\text{гр}} = 310^\circ 32'$ ;

определить местное звездное время для первой звезды с таким расчетом, чтобы оно получилось в целых градусах. Этого достигают путем подбора соответствующей долготы счислимой точки:  $S_{\text{л}} = S_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{с}}^{\text{в}} = 310^\circ 32' + 32^\circ 28' = 343^\circ$ ;

определить по ТВАЗ (см. приложение 7) по полученному местному звездному времени вычисленную высоту и азимут для

## Бланк для расчета элементов астрономической линии положения

Дата	21.8.1975	
Светило	Вега	Полярная
$H$	6000м	
ИПУ	300°	
$W$	600 км/ч	
ПП		
$T$	1.47,32	1.50,28
$N_{\text{ч}}$	3	
$T_{\text{гр}}$	22.47,32	
$t'_{\text{гр}}(S'_{\text{гр}})$	298°37'	
$\Delta t_{\text{гр}}(\Delta S_{\text{гр}})$	11°55'	
$t_{\text{гр}}(S'_{\text{гр}})$	310°32'	
$\lambda_{\text{п}}$	32°28'	
$t_{\text{м}}(S_{\text{м}})$	343°	
$\varphi_{\text{п}}$	48°	
$\delta$		
$h_{\text{изм}}$	44°21'	
$C$	-3'	
$r$	-1'	
$P$		

Элементы расчета	Вега	Полярная
$E$		
$q$	12 км	
$h_{\text{ис пр}}$	44°17'	
$h_{\text{в}}$	43°57'	
$\Delta h'$	20'	
$\Delta h_{\text{км}}$	+37 км	
$A$	283°	
$A/l$	50°/3 км	
МС		
Полярная		
$h_{\text{пол}}$		49°10'
$C$		-3'
$r$		0'
$D$		-8'
$\Delta\varphi_{\text{пол}}$		-34'
$\varphi$		48°25'
МС	Кировоград	

первой звезды и поправку к высоте Полярной для определения широты места:

$$h_{\text{в}} = 43^{\circ}57'; \quad A = 283^{\circ}; \quad \Delta\varphi_{\text{пол}} = -34'.$$

Выписать из таблицы (см. приложение 16) поправки за рефракцию: для звезды Вега  $r = -1'$ ;

для Полярной  $r = 0'$ ;

определить по таблице (см. приложение 19) поправку к высоте Полярной за перемещение самолета:  $D = -8'$ ;

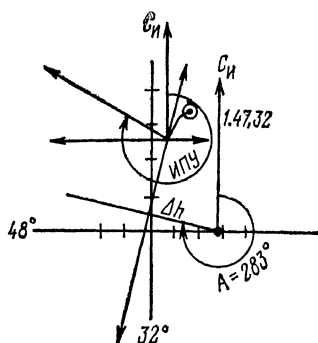


Рис. 7.18. Определение места самолета по звезде и Полярной

вычислить исправленную высоту первой звезды и широту места по высоте Полярной:

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + (\pm C) - r = 44^\circ 21' + (-3') - 1' = 44^\circ 17'.$$

$$\varphi = h_{\text{пол}} + (\pm C) - r + (\pm \Delta\varphi_{\text{пол}}) + (\pm D) = 49^\circ 10' + (-3') - 0' + (-34') + (-8') = 48^\circ 25';$$

определить разность высот для первой звезды и перевести ее в километры:

$$\Delta h = h_{\text{испр}} - h_{\text{в}} = 44^\circ 17' - 43^\circ 57' = +20 = +37 \text{ км};$$

выписать из таблицы (см. приложение 17) поправку за вращение Земли:  $q=12$  км;

выписать из таблицы (см. приложение 21) поправку за прецессию и нутацию:  $A=50^\circ$ ;  $l=3$  км;

проложить на карте астрономические линии положения (рис. 7.18). Точку их пересечения сместить на величины поправок за вращение Земли, прецессию и нутацию и отметить место самолета к моменту измерения высоты первой звезды.

## 9. ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА САМОЛЕТА ПО НЕБЕСНЫМ СВЕТИЛАМ

Вследствие ошибок, допускаемых в процессе измерения высот светил и выполнения вычислений, астрономические линии положения определяются неточно. Так как место самолета по небесным светилам получается в точке пересечения двух АЛП, то ошибки в определении этих линий вызывают ошибку в определении места самолета. Проведенная на карте АЛП является средней линией прямой полосы, в пределах которой может находиться самолет в момент измерения высоты светила. Ширина указанной полосы зависит от точности определения АЛП. Кроме того, ошибка в определении места самолета возникает вследствие замены круга равных высот отрезками прямых, а также за счет неточной прокладки АЛП на карте.

Больше всего точность определения места самолета зависит от точности измерения времени и особенно от точности измерения высот светил. При определении места самолета по небесным светилам ошибка определения точного времени в диапазоне широт от  $0$  до  $45^\circ$  не должна превышать  $5$  с. По мере увеличения широты допустимая ошибка в точности измерения времени увеличивается и на широтах выше  $80^\circ$  она может превышать  $20$  с. Для такой высокой точности измерения времени необходимо перед

полетом тщательно проверять часы, а в полете учитывать их поправку.

Для повышения точности измерения высот светил необходимо при измерении добиваться точного совмещения изображения светила с пузырьком уровня, а также учитывать соответствующие поправки в измеренные высоты.

В практике самолетовождения точность определения места самолета принято характеризовать кругом, радиус которого равен средней квадратической ошибке  $r$ .

Величина средней квадратической радиальной ошибки определения места самолета по двум АЛП для современных средств измерения высот светил и обработки данных может быть получена по формуле

$$r = \frac{20}{\sin \Delta A},$$

где 20 — средняя квадратическая ошибка в определении АЛП, км;  $\Delta A$  — разность азимутов светил, соответствующая углу пересечения АЛП.

Из формулы видно, что наименьшая ошибка в определении места самолета получается в том случае, если две АЛП пересекаются под углом  $90^\circ$ . Точность определения места самолета не зависит от продолжительности полета и пройденного расстояния, что является одним из основных преимуществ астрономических средств.

## 10. ЗВЕЗДНО-СОЛНЕЧНЫЙ ОРИЕНТАТОР БЦ-63А

Метод определения места самолета с помощью неавтоматических секстантов имеет ряд недостатков. Применение в полете неавтоматических секстантов позволяет лишь периодически определять место самолета. Кроме того, оно связано со значительной затратой времени на измерения и обработку их результатов.

Появление автоматических средств измерения высот светил и обработки результатов измерений позволило устранить указанные недостатки и значительно повысить надежность метода астрономической ориентировки. Одним из таких средств является звездно-солнечный ориентатор БЦ-63А, который обычно называют просто астроориентатором.

Звездно-солнечный ориентатор (ЗСО) предназначен для определения места самолета и курса путем автоматической пеленгации небесных светил. Указанные задачи самолетовождения в полном объеме можно решать только в ночном полете при видимости двух звезд. В дневном полете при видимости Солнца и автоматическом или ручном вводе текущих координат места самолета астроориентатор обеспечивает определение только курса самолета. Астроориентатор входит в состав комплексных нави-

рациональных систем, где применяется для коррекции численных координат места самолета и курсовой системы.

Астроориентатор БЦ-63А характеризуется следующими основными данными:

определение географических координат возможно на всех широтах в диапазоне от 0 до  $\pm 88^\circ$ ;

перерасчет географических координат в ортодромические обеспечивается в области с размерами по оси  $Y$  от 0 до  $\pm 20000$  км, а по оси  $X$  — от 0 до  $\pm 4000$  км;

среднеквадратическая радиальная ошибка определения места самолета составляет 40—50 км. Такая точность определения места самолета обеспечивает сохранение общей ориентировки в полете, а также коррекцию средств счисления пути в тех случаях, когда невозможно использовать более точные средства самолетовождения для коррекции;

определение места самолета возможно только ночью при видимости двух звезд ярче второй звездной величины с высотами от 10 до  $70^\circ$  и разностью азимутов от 30 до  $150^\circ$ ;

в дневных условиях астроориентатор может быть использован для определения истинного или ортодромического курса при видимости Солнца и его высоте от 5 до  $70^\circ$ ;

точность определения курса  $\pm 0,5^\circ$ ;

применение астроориентатора возможно при скорости полета до 2000 км/ч в диапазоне высот от 0 до 20 000 м;

настройка астроориентатора возможна в районе с радиусом 100 км от точки, координаты которой введены в прибор, если ошибка в курсе не превышает  $1,5^\circ$ ;

масса комплекта 140 кг.

В комплект астроориентатора входят: два автоматических секстанта, вычислитель, электронный индикатор, указатель курса, соединительный блок и некоторые другие части.

Астроориентатор имеет два режима работы: «Настройка» и «Слежение». Режим «Настройка» используется для наведения автоматических секстантов на выбранные светила. Режим «Слежение» является основным режимом работы астроориентатора, который обеспечивает определение текущих координат места самолета и его курса. Принципиальная схема астроориентатора приведена на рис. 7.19.

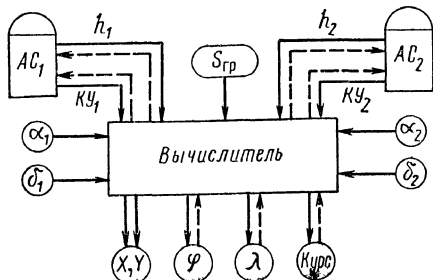


Рис. 7.19. Принципиальная схема астроориентатора

Для настройки астроориентатора штурман вводит в вычислитель географические координаты полюса главной ортодромии, географические координаты места самолета, прямое восхождение и склонение звезд, звездное гринвичское время и курс самолета. По исходным данным, введенным в вычислитель, вырабатываются высоты и курсовые уг-



лы выбранных светил, которые передаются на автоматические секстанты. На основании этих сигналов специальные электродвигатели производят начальную установку секстантов на выбранные светила. Контроль за захватом светил фотоследящими системами секстантов осуществляется визуально по электронному индикатору. Связи в режиме «Настройка» на рис. 7.19 показаны пунктирными линиями.

Принцип определения координат и курса самолета с помощью астроориентатора заключается в следующем. После начальной установки секстантов на выбранные светила астроориентатор переводится в режим автоматического слежения за светилами. Автоматические секстанты измеряют высоты и курсовые углы двух звезд и выдают их значения в вычислитель. Звездное гринвичское время обрабатывается непрерывно специальным устройством. На основании исходных данных и данных, поступающих от секстантов, вычислитель в результате решения уравнений двух кругов равных высот производит вычисление азимутов обеих звезд и географических координат места самолета. Вычисленные географические координаты выдаются на счетчики, а также поступают в канал вычисления ортодромических координат. Связи в режиме «Слежение» на рис. 7.19 показаны сплошными линиями.

Вычисление истинного курса производится на основании азимута и курсового угла светила, а ортодромического — на основании указанных величин и путевого угла  $\beta$  главной ортодромии.

Вычисления курсов производятся по формулам:

$$IK = A - KY; \quad OK = A - KY - \beta.$$

Место самолета наносится на карту по географическим или ортодромическим координатам, снятым со счетчиков координат.

## 11. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ДЛЯ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ

Запуск первого в мире советского искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. положил начало эры создания искусственных небесных тел. При запуске первых искусственных спутников Земли (ИСЗ) ставилась задача получить сведения, касающиеся плотности и температуры верхних слоев атмосферы и распределения массы в пределах Земли. Запуски ИСЗ позволили установить, что на больших высотах плотность воздуха во много раз больше, чем предполагалось до запуска спутников, что она сильно меняется в течение суток. По данным наблюдения за движением ИСЗ, ученые более точно определили форму и размеры Земли, а также расстояния между материками. Диапазон задач, которые ставятся и решаются с помощью ИСЗ, непрерывно расширяется. К настоящему времени число запущенных ИСЗ достигает нескольких тысяч. Спутники запускаются

теперь не только для научных целей, но и для решения многих практических задач. Например, в ряде стран запускаются метеорологические спутники и спутники связи. В течение нескольких лет военно-морские силы США используют в опытном порядке спутниковую систему навигации «Транзит», состоящую из пяти ИСЗ.

В связи с бурным ростом воздушного движения начали проводиться разработки по применению ИСЗ для предотвращения столкновения самолетов в воздухе, управления воздушным движением и обеспечения самолетовождения.

Внедрение спутниковых систем самолетовождения и связи должно разрешить проблему надежного УВД и навигационного обеспечения полетов в условиях ожидаемого роста движения самолетов к концу нынешнего столетия. Применение спутниковых систем самолетовождения и связи позволит обеспечивать полеты самолетов в любых погодных условиях. Учитывая исключительную надежность этих систем, можно будет уменьшить нормативы бокового и вертикального эшелонирования и тем самым улучшить использование воздушного пространства. Авиадиспетчеры и пилоты получают возможность связываться с любой точкой Земли и воздушного пространства.

В настоящее время можно создать единую мировую навигационную систему. Но для этого необходимо международное сотрудничество. Использование ИСЗ для самолетовождения является дальнейшим развитием методов авиационной астрономии. Рассмотрим некоторые понятия, связанные с навигационным использованием ИСЗ.

**Элементы орбиты ИСЗ.** Искусственным спутником Земли принято считать космический аппарат, выведенный в космическое пространство, движение которого по своей орбите подчиняется естественным силам. Путь ИСЗ в пространстве называется орбитой. В соответствии с законами небесной механики плоскость орбиты спутника Земли всегда проходит через центр масс Земли и спутника. Поэтому все возможные орбиты спутника располагаются в плоскостях сечения Земли по большому кругу. Вследствие этого ИСЗ может двигаться, например, в плоскости экватора, но не может перемещаться в плоскостях параллелей Земли.

Чтобы тело стало ИСЗ, необходимо придать ему скорость относительно Земли не меньше круговой, которую называют первой космической скоростью. Для спутника, движущегося по окружности у поверхности Земли, она равна 7,912 км/с. Круговая скорость с увеличением высоты уменьшается. Например, на высоте 1000 км круговая скорость спутника равна 7,356 км/с. Если искусственный спутник получит скорость больше круговой, соответствующей его высоте над земной поверхностью, то он будет двигаться по эллиптической орбите. При орбитальной скорости 11,19 км/с искусственный спутник выходит на эллиптическую орбиту относительно Солнца, т. е. перестает быть спутником Земли.

Для навигационных целей используют стационарные, синхронные и несинхронные ИСЗ.

Спутник, имеющий экваториальную круговую орбиту с периодом обращения, равным периоду вращения Земли, называется стационарным. Он расположен в пространстве всегда над одной и той же точкой экватора. Чтобы добиться указанного условия, спутник должен двигаться с запада на восток на высоте 35800 км со скоростью 3,076 км/с. В этом случае угловая скорость спутника будет равна угловой скорости вращения Земли.

Спутник, имеющий период обращения в целое число раз меньший или больший, чем период вращения Земли, называется синхронным. Такой спутник характерен тем, что при первом условии он ежедневно проходит над одной и той же точкой Земли в одно и то же время.

Спутник, у которого период обращения не кратен периоду вращения Земли, называется несинхронным.

Зная элементы орбиты ИСЗ, можно определить его положение в пространстве для любого момента времени. Эллиптическая орбита ИСЗ показана на рис. 7.20. На этом рисунке  $P$  — перигей орбиты (ближайшая к Земле точка орбиты спутника);  $A$  — апогей орбиты (наиболее удаленная от Земли точка орбиты спутника);  $i$  — угол наклона плоскости орбиты спутника к плоскости небесного экватора;  $\Omega$  — восходящий узел орбиты (точка на орбите, в которой ИСЗ пересекает плоскость небесного экватора, переходя из Южного полушария в Северное);  $\vartheta$  — нисходящий узел орбиты;  $\Upsilon$  — точка весеннего равноденствия;  $\omega$  — прямое восхождение восходящего узла орбиты;  $\alpha$  — прямое восхождение перигея по орбите от восходящего узла;  $\delta$  — склонение спутника. Чтобы полностью определить орбиту спутника, необходимо знать шесть элементов. Элементы  $\Omega$ ,  $i$ ,  $\omega$  называют угловыми элементами. К пространственным элементам орбиты относятся: большая полуось эллипса  $a$  и эксцентриситет орбиты  $e$ , т.е. отношение фокусного расстояния к большой полуоси эллипса. Большая полуось и эксцентриситет характеризуют размеры и форму эллиптической орбиты. Шестым элементом является время прохождения перигея.

Положение спутника на небесной сфере определяется склонением и прямым восхождением. Но эти элементы очень быстро изменяются, так как ИСЗ имеет малый период обращения. Если бы на движение ИСЗ не оказывали действия возмущающие силы, то положение его орбиты в пространстве, а также размеры и форма орбиты оставались бы

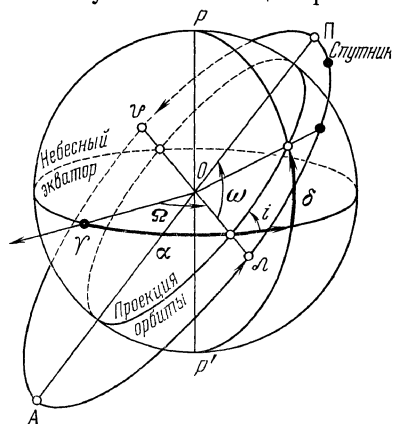


Рис. 7.20. Элементы орбиты ИСЗ

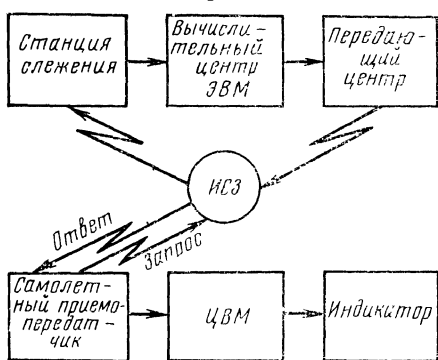
неизменными. В действительности движение спутника испытывает сложные и разнообразные возмущения. Влияние сил притяжения Солнца, Луны и планет, неоднородность поля тяготения Земли, влияние сил сопротивления атмосферы и электромагнитных сил изменяют параметры орбиты ИСЗ.

Без знания элементов траектории и координат ИСЗ нельзя использовать его для самолетовождения. Поэтому в состав спутниковых навигационных систем входит ЭВМ, которая вычисляет эфемериды (координаты) ИСЗ. Вычисленные координаты передаются на спутник, а оттуда на самолет, где они используются при обработке результатов измерений.

**Спутниковые навигационные системы.** Основная задача самолетовождения сводится к определению места самолета. В современных условиях эту задачу можно решить с помощью ИСЗ, которые являются новыми перспективными средствами самолетовождения. Искусственные спутники, являясь небесными телами, имеют ряд преимуществ перед естественными небесными светилами — они оснащены прямо-передающей аппаратурой, что позволяет измерять не только угловые координаты ИСЗ, но и использовать свойства радиоволн для определения дальности до них.

Рассмотрим кратко принцип работы спутниковой навигационной системы на примере спутниковой системы навигации «Навстар». В ее состав (рис. 7.21) входят: один или несколько ИСЗ; сеть следящих станций; вычислительный центр; передающий центр; самолетное бортовое оборудование. Количество спутников, их высота и положение орбит определяется практическими соображениями по обеспечению полетов в необходимых районах.

Сеть следящих станций обеспечивает слежение за спутниками и определение точного их положения. Число станций зависит от необходимой продолжительности слежения. Станции располагаются в пунктах с точно известными координатами. Данные станций слежения поступают в вычислительный центр, где с помощью ЭВМ производится вычисление эфемерид ИСЗ, которые



затем передаются передающим центром на спутник, а оттуда посылаются абонентам в виде части навигационного сигнала.

Бортовое оборудование в зависимости от типа самолета может включать самолетный приемопередатчик, радиосекстант, оборудование доплеровской системы для работы с ИСЗ, радиолокационный приемник для угломерно-дальномерной системы и цифровую вычислительную машину (ЦВМ) с помощью которой производится обработка спутни-

Рис. 7.21. Общий принцип работы спутниковой навигационной системы

ковых сигналов и автоматическое определение места самолета с выдачей его на индикатор.

Для снижения стоимости бортового оборудования в некоторых системах предусматривается определение места самолета производить на земле с помощью ЭВМ. Затем данные о месте самолета через релейные станции на ИСЗ передаются диспетчером УВД на борт самолета для решения экипажем навигационных задач.

Спутниковые навигационные системы могут быть следующих типов: угломерные, дальномерные и доплеровские.\*

Угломерные спутниковые системы основаны на измерении бортовым устройством угловых высот двух спутников. В процессе измерения высот аппаратура, установленная на спутниках, передает на самолет их координаты. Измеренные высоты и поступившая информация о положении спутников автоматически обрабатываются бортовой вычислительной аппаратурой, которая выдает текущие географические координаты места самолета.

Дальномерные спутниковые системы основаны на измерении дальности до двух спутников и высоты полета самолета. Измерение дальностей до двух спутников позволяет получить на земной поверхности два круга равных дальностей. Пересечение этих кругов дает место самолета. Центром круга равных дальностей является географическое место ИСЗ. Место самолета определяется бортовым автоматическим вычислительным устройством по известным траекторным элементам спутников, высоте полета и дальностям до двух спутников.

Доплеровские спутниковые системы основаны на принципе определения доплеровского сдвига частоты принятых на самолете сигналов ИСЗ. Такая система состоит из одного или нескольких спутников, положение орбит которых во времени точно известно. На спутнике установлен передатчик со строго стабилизированной частотой излучения навигационных сигналов. Эти сигналы передаются через установленный интервал времени. С помощью приемника на самолете определяется доплеровский сдвиг частоты. Интегрирование полученного сдвига частоты обеспечивает нахождение дальности до спутника. Три таких измерения позволяют определить место самолета, как и в дальномерной системе. В доплеровской системе не обеспечивается непрерывное определение места самолета. Но при этом можно обойтись без угловых измерений, требующих стабилизации платформы антенны на самолете, значительно усложняющей бортовую аппаратуру.

Спутниковые навигационные системы имеют неоспоримые преимущества перед другими системами и их внедрение позволит повысить надежность и безопасность выполнения полетов над любыми районами земного шара.

---

\* Элементарная астрономия. О. Струве. М., «Наука», 1964.

## ПОДГОТОВКА К ПОЛЕТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОНОМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

### 1. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ К ПОЛЕТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСТРОНОМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Точность и надежность вождения современных воздушных судов могут быть достигнуты только при комплексном использовании геотехнических, радиотехнических, астрономических и светотехнических средств самолетовождения.

При видимости небесных светил астрономические средства, как и многие другие средства самолетовождения, позволяют определять курс самолета, осуществлять контроль пути и определять место самолета. Но автономность их применения, одинаковая точность работы, не зависящая от продолжительности, дальности, высоты и скорости полета, а также от географических районов Земли значительно повышает их роль в самолетовождении.

Особое значение астрономические средства приобретают в дальних полетах, в полетах над океанами, которые трудно обеспечить наземными радиотехническими средствами самолетовождения, а также при полетах в Арктике и Антарктике, где визуальная ориентировка затруднена, магнитные компасы вследствие малой горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли работают ненадежно, а применение радиотехнических средств иногда связано с трудностями, обусловленными возмущениями магнитного поля Земли. Однако использование астрономических средств требует знания положения небесных светил, а также высокой точности знания времени, что предъявляет более высокие требования к подготовке к полету.

Известно, что подготовка к полету производится с целью сокращения объема работы экипажа в воздухе. Это особенно относится к применению астрономических средств, так как различные вычисления, связанные с определением навигационных элементов при помощи этих средств, занимают много времени.

Успешное применение астрономических средств прежде всего зависит от тщательности подготовки к полету, а также от уровня подготовки штурмана в вопросах теории и практики применения авиационной астрономии в самолетовождении. Чтобы успешно использовать астрономические средства, штурман обязан знать теоретический курс авиационной астрономии, звездное небо, ме-

тоды использования астрономических средств и уметь ими пользоваться, а также систематически тренироваться в отыскании навигационных звезд, измерении высот светил и производстве астрономических расчетов. Всеми этими вопросами штурман обязан заниматься в процессе повседневного совершенствования своей специальной подготовки. Ни одно из других средств не требует от штурмана таких навыков, умений и знаний, как применение авиационной астрономии в самолетовождении.

Указанные выше требования могут быть достигнуты только в результате практических тренировок, способствующих повышению штурманского мастерства.

Подготовка к полету с использованием астрономических средств проводится одновременно с общей подготовкой к полету и включает следующие дополнительные элементы:

определение поправки часов и поправки секстанта;

специальную подготовку бортовой карты;

подготовку необходимых расчетных пособий и специальных бланков;

выбор небесных светил для использования в полете и определение условий естественного освещения;

выполнение астрономических предвычислений;

предполетную подготовку астрономических приборов.

Опыт показывает, что точность самолетовождения и безопасность полета зависят не только от оснащенности самолета и воздушной трассы навигационными средствами, но и от уровня подготовки экипажа, его умения использовать эти средства и тщательности подготовки к полету. Анализ отдельных неточностей в самолетовождении показывает, что иногда штурман в полете из-за отсутствия заранее подготовленных данных не может полностью реализовать возможности средств самолетовождения.

Одной из особенностей астрономических средств является то, что для их применения нужна предварительная подготовка многих данных. Поэтому только дополнительная специальная подготовка к полету с использованием астрономических средств может гарантировать успешное их применение и обеспечить требуемую точность и надежность самолетовождения с помощью этих средств.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЧАСОВ

Решение многих задач авиационной астрономии связано с необходимостью ввода в приборы или фиксирования времени с высокой точностью.

Для определения времени в полете на воздушных судах применяются наручные, бортовые часы и бортовые хронометры. Чтобы добиться высокой точности измерения времени в полете, необходимо тщательно проверять точность хода часов и хронометра перед полетом, определять и учитывать их поправки.

Поправкой часов  $U$  называется число минут и секунд, которое необходимо ввести в показание часов, чтобы получить точное время. Таким образом, определение точного времени сводится к определению поправки часов и ее учету.

Поправка часов определяется по формуле

$$U = T_{\text{точн}} - T,$$

где  $T_{\text{точ}}$  — точное время;  $T$  — показание часов.

Поправка часов считается положительной и пишется со знаком плюс, когда часы показывают меньше точного времени, и отрицательной — со знаком минус, когда часы показывают больше точного времени.

**Пример.** Точное время  $T_{\text{точ}} = 12$  ч 00 мин 00 с; показание часов  $T = 11$  ч 58 мин 35 с. Определить поправку часов.

**Решение.** Применяя формулу поправки часов, находим  $U = T_{\text{точ}} - T = -12$  ч 00 мин 00 с  $- 11$  ч 58 мин 35 с  $= +1$  мин 25 с.

Для получения точного времени необходимо к показанию часов алгебраически прибавить их поправку, т. е.  $T_{\text{точ}} = T + (\pm U)$ .

**Пример.** Показание часов  $T = 14$  ч 10 мин 17 с; поправка часов  $U = +1$  мин 25 с. Определить точное время.

**Решение.** Применяя формулу точного времени, находим  $T_{\text{точ}} = T + (\pm U) = 14$  ч 10 мин 17 с  $+ (+1$  мин 25 с)  $= 14$  ч 11 мин 42 с.

Поправку часов можно определять следующими способами: сличением часов с контрольными часами; по сигналам точного времени; расчетом по суточному ходу часов.

Основным способом определения поправки часов является первый способ, который состоит в том, что показания личных часов перед полетом сличаются с контрольными часами (с хронометром), находящимися в штурманских комнатах аэропортов. После сличения личные часы устанавливаются на точное время или запоминается их поправка.

Контрольные часы проверяются дежурным штурманом по радиосигналам точного времени не реже четырех раз в сутки — 0; 6; 12 и 18 ч по московскому времени. Результаты проверки дежурный штурман заносит в специальный журнал, отмечая в нем суточный ход и поправку контрольных часов. При проведении предполетной подготовки члены экипажа обязаны сверить показания личных часов с контрольными часами. Для определения точного времени по контрольным часам необходимо учитывать их поправку.

Перед вылетом штурман обязан проверить бортовые часы по своим сверенным часам и установить их на точное время. Точность установки личных и бортовых часов на точное время должна быть в пределах  $\pm 15$  с, а штурманских часов, которые используются для применения астрономических средств самолетовождения, в пределах  $\pm 2$  с.

Второй способ определения поправки часов состоит в том, что показание часов сравнивается с точным временем, передаваемым по радио. Передача точных сигналов времени производится радиовещательными станциями в виде шести точек в последние



пять секунд каждого часа. Эти сигналы передаются в паузах между передачами или с наложением на программу вещания. Начало шестой точки соответствует отсчету целого часа. Точность подачи сигналов 0,1 с.

Сигналы точного времени используются для проверки показания часов не только на земле, но и в воздухе при длительных полетах.

В силу технического несовершенства ни одни часы не могут идти абсолютно точно. Поэтому поправка часов не остается постоянной. Она с течением времени несколько изменяется.

Изменение поправки часов за одни сутки называется суточным ходом часов  $\omega$ . По суточному ходу часов можно судить, на сколько часы отстают или спешат за сутки. Суточный ход часов считается положительным, если часы отстают, и отрицательным, если часы спешат.

Суточный ход часов можно определить по формуле

$$\omega = U_2 - U_1,$$

где  $U_1$  и  $U_2$  — поправки часов, определенные с промежутком времени в 24 ч.

На практике промежуток времени между моментами определения поправок часов часто бывает не равен 24 ч. В этом случае суточный ход часов определяется по следующей формуле:

$$\omega = \frac{24(U_2 - U_1)}{T_2 - T_1},$$

где  $U_1$  и  $U_2$  — поправки часов, соответствующие моментам времени  $T_1$  и  $T_2$ ;  $T_2 - T_1$  — разность моментов, выраженная в часах.

**Пример.** Дата 15 мая; первый момент времени  $T_1 = 12$  ч 00 мин 00 с; первая поправка часов  $U_1 = +28$  с; второй момент времени  $T_2 = 16$  ч 00 мин 00 с; вторая поправка часов  $U_2 = +30$  с. Определить суточный ход часов.

**Решение.** Подставляя данные примера в формулу суточного хода часов, находим

$$\omega = \frac{24(U_2 - U_1)}{T_2 - T_1} = \frac{24(30 - 28)}{16 - 12} = \frac{24(+2)}{4} = \frac{+48}{4} = +12 \text{ с.}$$

Следовательно, за сутки данные часы отстают на 12 с. Величина суточного хода часов может быть доведена с помощью регулятора хода до небольшой величины. Суточный ход часов обычно несколько изменяется. Качество часов и хронометров характеризуется не величиной их поправки и не величиной их хода, а равномерностью хода, его постоянством. Чем меньше величина изменения суточного хода, тем выше качество часов. Наручные часы и хронометры, используемые для астрономических наблюдений, имеют колебания суточного хода  $\pm 2 \div 5$  с.

В тех случаях, когда в полете прием сигналов точного времени невозможен, поправку часов можно рассчитать третьим способом по суточному ходу часов. Зная суточный ход часов и считая его для некоторого промежутка времени постоянным,

поправку часов для любого момента времени определяют по формуле

$$U_2 \cong U_1 + \omega \frac{T_2 - T_1}{24} .$$

**Пример.** Перед вылетом в  $T_1 = 16$  ч была определена поправка часов  $U_1 = +32$  с; суточный ход часов  $\omega = -20$  с. Определить поправку часов  $U_2$  для  $T_2 = 22$  ч.

**Решение.** Применяя формулу расчета поправки часов по их суточному ходу, находим

$$U_2 = U_1 + \omega \frac{T_2 - T_1}{24} = +32 + \left( -20 \frac{22 - 16}{24} \right) = +32 + (-5) = +27 \text{ с.}$$

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ СЕКСТАНТА

При измерении высот светил необходимо учитывать поправку секстанта  $S$ , которая включает инструментальную ошибку прибора и личную ошибку штурмана при измерении. Вследствие того, что поправка секстанта зависит от личной ошибки наблюдателя, необходимо, чтобы ее определение производилось тем штурманом, который будет пользоваться данным секстантом.

Величина поправки секстанта с течением времени может изменяться за счет ударов и сотрясений прибора в процессе его эксплуатации. Поэтому поправку секстанта необходимо периодически проверять, но не реже одного раза в три месяца, а также при подготовке к выполнению особо ответственных заданий.

В практике применяются следующие наиболее распространенные способы определения поправки секстанта: измерение высоты светила в момент его кульминации; прокладка астрономических линий положения; сравнение широты места наблюдателя, снятой с карты, с широтой, полученной по измеренной высоте Полярной звезды.

**Определение поправки секстанта измерением высоты Солнца в момент его кульминации.** Этот способ основан на сравнении вычисленной высоты Солнца с измеренной высотой в момент его кульминации. Рассмотрим на примере порядок определения поправки секстанта измерением высоты Солнца в момент его верхней кульминации.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi = 48^{\circ}31'$  с; долгота  $\lambda = 32^{\circ}16'$  в; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ . Определить поправку секстанта измерением высоты Солнца в момент его кульминации.

**Решение 1.** Определить гринвичский часовой угол Солнца в момент его верхней кульминации. Известно, что в момент верхней кульминации светила его местный часовой угол равен  $360^{\circ}$ . Зная местный часовой угол и долготу наблюдателя, можно найти гринвичский часовой угол, который определяется по формуле

$$t_{\text{Гр}} = t_{\text{М}} \mp \lambda_{\text{З}}^{\text{В}} = 360^{\circ} - 32^{\circ}16' = 327^{\circ}44'.$$

2. По значению полученного гринвичского часового угла с помощью ААЕ (см. приложение 5) определить момент кульминации Солнца по гринвичскому времени. Для этого необходимо на странице ААЕ для заданной даты найти гринвичский часовой угол ближайший меньший к рассчитанному и выписать приближенное время верхней кульминации Солнца. Получаем:

$$t'_{\text{гр}} = 314^{\circ}07'; T'_{\text{гр}} = 9 \text{ ч.}$$

3. Определить разность между рассчитанным гринвичским часовым углом  $t_{\text{гр}}$  и выписанным из ААЕ  $t'_{\text{гр}}$ :

$$\Delta t_{\text{гр}} = t_{\text{гр}} - t'_{\text{гр}} = 327^{\circ}44' - 314^{\circ}07' = 13^{\circ}37'.$$

4. С помощью интерполяционных таблиц (см. приложение 10) или путем математических вычислений перевести полученную разность во время:  $\Delta T = 54 \text{ мин } 28 \text{ с.}$

5. Определить момент верхней кульминации Солнца по гринвичскому времени:  $T_{\text{гр}} = T'_{\text{гр}} + \Delta T = 9 \text{ ч } + 54 \text{ мин } 28 \text{ с} = 9 \text{ ч } 54 \text{ мин } 28 \text{ с.}$

6. Определить момент верхней кульминации Солнца по поясному декретному времени:  $T = T_{\text{гр}} + N_{\text{ч}} = 9 \text{ ч } 54 \text{ мин } 28 \text{ с} + 3 \text{ ч} = 12 \text{ ч } 54 \text{ мин } 28 \text{ с.}$  Расчет момента кульминации Солнца вызван тем, что оно каждый день кульминирует в разное время вследствие несовпадения среднего солнечного времени, по которому идут часы, с истинным солнечным временем, соответствующим определенному положению Солнца на небе.

7. Выписать из ААЕ склонение Солнца для момента верхней кульминации и вычислить его высоту по формуле

$$h_{\text{в.вк}} = 90^{\circ} \pm (\delta - \varphi).$$

Знак плюс в формуле относится к кульминации светила к югу от зенита ( $\delta < \varphi$ ), а знак минус — к кульминации светила к северу от зенита ( $\delta > \varphi$ ). Склонение Солнца для данного примера  $\delta = +12^{\circ}35'$ . Так как  $\delta < \varphi$ , то кульминация Солнца происходит к югу от зенита. Следовательно,  $h_{\text{в.вк}} = 90^{\circ} + (\delta - \varphi) = 90^{\circ} + 12^{\circ}35' - 48^{\circ}31' = 54^{\circ}04'$ .

8. Произвести несколько измерений высоты Солнца секстантом. Так как высоты светил около кульминации изменяются очень медленно, то измерения высот производят за две минуты до кульминации и две — после. Каждое из измеренных значений высоты записывают:  $h_{\text{изм}_1} = 54^{\circ}00'$ ;  $h_{\text{изм}_2} = 54^{\circ}01'$ ;  $h_{\text{изм}_3} = 54^{\circ}02'$ .

9. Определить среднее значение измеренной высоты Солнца:  $h_{\text{изм.ср}} = 54^{\circ}01'$ .

10. Исправить измеренную высоту за рефракцию. Для высоты  $54^{\circ}01'$  (см. приложение 16) рефракция  $r = -1'$ ;

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{изм.ср}} - r = 54^{\circ}01' - 1' = 54^{\circ}00'.$$

11. Определить поправку секстанта по формуле

$$C = h_{\text{в.вк}} - h_{\text{испр}} = 54^{\circ}04' - 54^{\circ}00' = +4'.$$

Рассмотренный способ определения поправки секстанта достаточно прост и обеспечивает необходимую точность, однако он

имеет существенный недостаток, особенно ощутимый в светлое время суток, т. е. его нельзя применять в любое время. При определении поправки секстанта по измерениям высоты кульминирующей Луны или планеты момент кульминации определяется так же, как и для Солнца, т. е. по значению гринвичского часового угла этих светил в момент кульминации.

При определении поправки секстанта по звездам определение момента кульминации производится по звездному времени в момент кульминации выбранной звезды. В этом случае расчеты несколько отличаются от расчетов, производимых при определении поправки по Солнцу.

Рассмотрим на примере порядок определения поправки секстанта измерением высоты кульминирующей звезды.

**Пример.** Дата 20 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi = 48^{\circ}32'$  с; долгота  $\lambda = 32^{\circ}16'$  в; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ . Определить поправку секстанта измерением высоты звезды Альтаир в момент ее кульминации.

**Решение.** 1. Выписать из таблицы координат звезд (см. приложение 2) прямое восхождение и склонение звезды Альтаир:  $\alpha = 297^{\circ}23'$ ;  $\delta = +8^{\circ}48'$ .

2. Определить гринвичское звездное время в момент кульминации данной звезды. Как известно, местное звездное время в момент верхней кульминации звезды равно прямому восхождению данной звезды, т. е.  $S_{\text{М}} = \alpha$ . Следовательно,

$$S_{\text{Гр}} = S_{\text{М}} \mp \lambda_{\text{З}}^{\text{В}} = 297^{\circ}23' - 32^{\circ}16' = 265^{\circ}07'.$$

3. По значению полученного гринвичского звездного времени с помощью ААЕ (см. приложение 5) определить момент верхней кульминации данной звезды на меридиане Гринвича. На странице ААЕ для заданной даты по ближайшему меньшему гринвичскому звездному времени к рассчитанному находим:

$$S'_{\text{Гр}} = 253^{\circ}29'; \quad T'_{\text{Гр}} = 19 \text{ ч.}$$

4. Определить разность между рассчитанным гринвичским звездным временем и выписанным из ААЕ:

$$\Delta S_{\text{Гр}} = S_{\text{Гр}} - S'_{\text{Гр}} = 265^{\circ}07' - 253^{\circ}29' = 11^{\circ}38'.$$

5. С помощью интерполяционных таблиц (см. приложение 10) перевести полученную разность  $\Delta S_{\text{Гр}}$  во время:  $\Delta T = 46 \text{ мин } 24 \text{ с}$ .

6. Определить момент верхней кульминации данной звезды по гринвичскому времени:

$$T_{\text{Гр}} = T'_{\text{Гр}} + \Delta T_{\text{в}} = 19 \text{ ч } + 46 \text{ мин } 24 \text{ с} = 19 \text{ ч } 46 \text{ мин } 24 \text{ с}.$$

7. Определить момент верхней кульминации звезды по поясному декретному времени:

$$T = T_{\text{Гр}} + N_{\text{ч}} = 19 \text{ ч } 46 \text{ мин } 24 \text{ с} + 3 \text{ ч} = 22 \text{ ч } 46 \text{ мин } 24 \text{ с}.$$

8. Вычислить высоту звезды в момент ее верхней кульминации:

$$h_{\text{в.вк}} 90^{\circ} \pm (\delta - \varphi) = 90^{\circ} + 8^{\circ}48' - 48^{\circ}32' = 50^{\circ}16'.$$

9. В промежутке времени за 2 мин до момента верхней кульминации звезды и 2 мин после кульминации произвести два-три измерения высоты звезды и взять среднее из полученных значений:  $h_{\text{изм.ср}} = 50^{\circ}22'$ .

10. Исправить измеренную высоту за рефракцию. Для высоты  $50^{\circ}22'$  рефракция  $r = -1'$ .  $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм.ср}} - r = 50^{\circ}22' - 1' = 50^{\circ}21'$ .

11. Определить поправку секстанта:

$$C = h_{\text{в.вк}} - h_{\text{испр}} = 50^{\circ}16' - 50^{\circ}21' = -5'.$$

**Определение поправки секстанта прокладкой астрономических линий положения.** Этот способ основан на определении уда-

ления астрономических линий положения, проложенных на карте, от места наблюдателя.

Зная свое местонахождение, штурман в любой момент времени измеряет высоты двух-трех светил (ночью), а днем несколько раз подряд измеряет высоту Солнца. Затем по времени и измеренным высотам производит расчет и прокладку АЛП на карте (рис. 8.1).

Если поправка секстанта равна нулю, то все АЛП пройдут через место наблюдателя. Если же поправка секстанта не равна нулю, то все линии положения сместятся относительно места наблюдателя или в направлении ГМС, или в направлении, противоположном ему.

Величина удалений АЛП от места наблюдателя измеряется на карте по перпендикулярам к АЛП.

Поправка секстанта в этом случае будет равна среднему арифметическому значению из полученных удалений АЛП от места наблюдателя, выраженному в минутах дуги, т. е.

$$C = \frac{AB + AD + AC}{3 \cdot 1,852}.$$

Знак поправки определяется по положению АЛП относительно места наблюдателя и ГМС.

Если АЛП и ГМС находятся по одну сторону от места наблюдателя, то поправка отрицательная, а если по разные стороны, то положительная.

Поправка секстанта прокладкой АЛП определяется в следующем порядке:

в любые моменты времени измерить высоты нескольких светил, расположенных под углами 90—120°, или серию высот одного светила;

произвести расчет АЛП для каждого измерения и проложить их на карте;

нанести на карту по координатам место наблюдателя;

измерить по перпендикулярам удаление АЛП от места наблюдателя;

вычислить среднее удаление АЛП от места наблюдателя и перевести его в минуты дуги;

определить знак поправки по изложенному выше правилу.

Преимуществом этого способа определения поправки секстанта является то, что применять его можно практически в любое время суток. Недостатком способа является громоздкость расчетов и зависимость точности определения поправки секстанта от графической работы на карте.

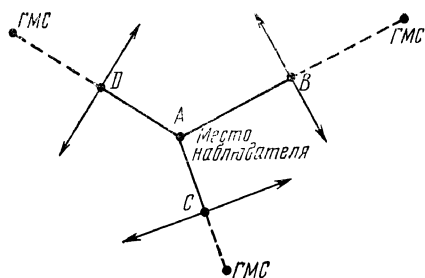


Рис. 8.1. Определение поправки секстанта прокладкой АЛП

#### 4. ПОДГОТОВКА БОРТОВОЙ КАРТЫ И РАСЧЕТНЫХ ПОСОБИЙ

При подготовке к полету с использованием астрономических средств штурман обязан подготовить бортовую карту масштаба 1:2 000 000 или 1:4 000 000, предназначенную для прокладки астрономических линий положения и определения места самолета.

Подготовка бортовой карты включает подбор необходимых листов, прокладку маршрута полета и нанесение разметки. Для применения астрономических средств и выполнения астрономических расчетов на бортовой карте поднимается и размечается сетка меридианов и параллелей, подписываются широты и долготы основных точек маршрута (ИПМ, ППМ, КО), а также наносятся десятиминутные деления по широте и долготе на меридианах и параллелях.

Указанная специальная подготовка бортовой карты упрощает нанесение на карту счислимых точек, сокращает время, необходимое для прокладки АЛП и определения места самолета, а также повышает оперативность использования астрономических средств.

Подготовка к полету расчетных пособий определяется временем суток и районом полета. При подготовке к полету с использованием астрономических средств штурман обязан подготовить:

таблицы высот и азимутов светил для широт, в пределах которых расположен маршрут полета. В зависимости от времени полета берется необходимая часть таблиц высот и азимутов Солнца, Луны и планет (ТВА) или таблиц высот и азимутов звезд (ТВАЗ);

отрывной лист Авиационного астрономического ежегодника (ААЕ) за дату полета или специальные таблицы (см. приложения 13, 14 и 15), позволяющие производить вычисление гринвичских часовых углов и склонения Солнца и звездного гринвичского времени;

таблицу экваториальных координат звезд для соответствующего года;

вспомогательные таблицы для расчета элементов АЛП;

бланки для расчета АЛП. При отсутствии готовых бланков штурман обязан подготовить их сам.

При подготовке к ночному полету необходимо также выписать со схем, помещенных в ААЕ, положение планет среди звезд на дату полета.

Это рекомендуется делать даже и в том случае, когда не намечается использовать планеты в полете. Такая предварительная осведомленность о положении планет исключает путаницу при отыскании на небе нужных созвездий и звезд и облегчает их распознавание.

## 5. ВЫБОР НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В настоящее время основным способом астрономической ориентировки в полете является прокладка астрономических линий положения на карте, полученных в результате измерений высот светил. При этом АЛП по наблюдениям любых светил могут занимать различное направление на карте, зависящее от положения используемых светил на небе, тогда как измерение высоты Полярной звезды дает АЛП, совпадающую с параллелью места. Получаемые АЛП могут использоваться для контроля пути и определения места самолета как самостоятельно, так и в сочетании с другими средствами самолетовождения. Поэтому при выборе светил, удобных для использования в полете, необходимо учитывать их положение относительно маршрута полета и взаимное положение.

В дневном полете астрономическая ориентировка ведется по наблюдениям Солнца, а иногда и по наблюдениям Луны.

Перед дневным полетом штурман обязан определить, на каких участках маршрута он сможет использовать эти светила для контроля пути по направлению и по дальности, а также оценить возможность совместного их использования для определения места самолета. При использовании Солнца и Луны необходимо учитывать, что эти светила в течение дня меняют свое положение относительно линии пути. В утренние и вечерние часы при полете на восток или на запад Солнце можно использовать для контроля пути по дальности, а в полдень — для контроля пути по направлению.

При полете на север или на юг, наоборот, Солнце в полдень используется для контроля пути по дальности, а в утренние и вечерние часы для контроля пути по направлению.

Следует помнить, что Луну совместно с Солнцем наиболее удобно использовать, когда она находится в первой и последней четвертях, за два дня до наступления этих фаз и в продолжение двух дней после их наступления. При этом в фазе первой четверти Луна удобна для наблюдений во второй половине дня, т. е. с полудня и до захода Солнца, а в фазе последней четверти — с восхода Солнца и до полудня.

Особое внимание штурман должен уделять выбору светил для их использования при полетах в сумерках, т. е. в период, когда для астрономической ориентировки можно использовать лишь ограниченное количество светил. Обычно в вечерние и утренние сумерки используются Луна и планеты. Данные о видимости Луны и планет приведены в ААЕ. В период сумерек наиболее удобны наблюдения за Луной, однако она в этот период не всегда наблюдается.

Следует знать, что после захода Солнца, т. е. в период вечерних сумерек, Луна наблюдается через два дня после новолуния и за два дня до полнолуния. Перед восходом Солнца, т. е.

в период утренних сумерек, на рассвете Луна видна после полнолуния и за два дня до наступления новолуния. В период вечерних и утренних сумерек рекомендуется обращать внимание на возможность использования Венеры. Она в это время очень ярка и удобна для наблюдений.

Наиболее благоприятен выбор светил при полете ночью. В ночном полете могут быть получены АЛП по любой яркой звезде из числа тех, для которых составлены таблицы высот и азимутов, а также определена широта места по Полярной звезде. Возможность использования тех или иных звезд определяется перед полетом с помощью ТВАЗ по местному звездному времени, рассчитанному приблизительно для времени применения астрономических средств в полете. На каждой странице ТВАЗ для соответствующих интервалов местного звездного времени указаны 4—6 звезд наиболее удобных для наблюдений. Звезды, азимуты которых близки к перпендикуляру к ЛЗП, выбираются для контроля пути по направлению, а те звезды, азимуты которых близки к направлению полета, выбираются для контроля пути по дальности. Желательно, чтобы высоты выбранных звезд находились в пределах от 30 до 60°.

Точность определения места самолета во многом зависит от правильности выбора звезд. Для определения места самолета подбирается такая пара звезд, разность азимутов которых близка к 90 или 270° или хотя бы находилась в пределах 50—130° (230—310°), когда еще место самолета определяется с удовлетворительной точностью. Если же звезда выбирается для совместного использования с Полярной, то желательно выбирать звезду на востоке или на западе с таким расчетом, чтобы АЛП, соответствующая ее высоте, была расположена примерно по меридиану. В этом случае место самолета, полученное в точке пересечения АЛП с параллелью широты, рассчитанной по высоте Полярной звезды, будет определено более точно.

Если для определения места самолета предполагается использовать АЛП в сочетании с линиями положения, полученными с помощью радиотехнических средств, желательно для наблюдения выбирать такие звезды, которые давали бы АЛП соответствующего направления относительно линии радиопеленга. При этом нужно помнить, что направление АЛП всегда перпендикулярно к направлению на светило.

Рассмотрим на примере порядок выбора звезд для определения места самолета.

**Пример.** Дата полета 20 августа 1975 г.; намечается определить место самолета в полете в 3 ч 05 мин по московскому времени; приближенные координаты района полета: широта  $\varphi = 48^\circ$  с; долгота  $\lambda = 30^\circ$  в.

Решение. 1. Находим гринвичское время определения места самолета:

$$T_{гр} = T_{мск} - 3 \text{ ч} = 3 \text{ ч } 05 \text{ мин} - 3 \text{ ч} = 0 \text{ ч } 05 \text{ мин.}$$

2. Определяем по ААЕ (см. приложения 5 и 10) звездное гринвичское время:  $S_{гр} = 328^\circ 58'$ .

3. Определяем звездное местное время:  $S_m = S_{гр} \pm \lambda_3^B = 328^\circ 58' + 30^\circ 02' = 359^\circ$ .



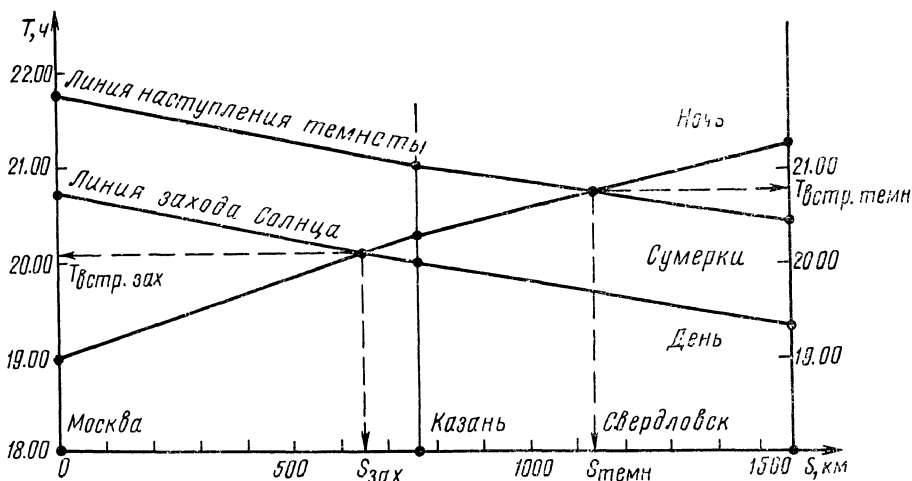


Рис. 8.2. График условий естественного освещения

4. Находим в ТВАЗ страницу (см. приложение 7), соответствующую широте полета и звездному местному времени, и выбираем по указанным на этой странице звездам такие две звезды, разность азимутов которых близка к  $90^\circ$  или  $270^\circ$ . Из таблицы находим: Вега  $A=293^\circ$ ; Капелла  $A=60^\circ$ ; Альтаир  $A=254^\circ$ ; Альферац  $A=173^\circ$ . Разность азимутов звезд Альтаир и Альферац равна  $81^\circ$ , а звезд Альферац и Капелла —  $113^\circ$ . Как видим, разности азимутов близки к  $90^\circ$ . Следовательно, место самолета на указанной широте в намеченное время наиболее целесообразно определять по звездам Альтаир и Альферац.

Применение астрономических средств самолетовождения требует учета условий естественного освещения. При выполнении полета по воздушной трассе большой протяженности, когда одна его часть может выполняться днем, а другая ночью или наоборот, важно знать, в какое время и в каком месте трассы произойдет встреча самолета с темнотой или рассветом, с восходом или заходом Солнца, а также рубежи и моменты времени, с которых можно начинать или заканчивать применение астрономических средств самолетовождения.

Анализ условий естественного освещения по данной воздушной трассе может быть выполнен с помощью предварительно построенного графика (рис. 8.2). Для его построения производят расчет моментов наступления соответствующих явлений для основных пунктов маршрута по московскому времени. Расчет производят по таблицам или графикам. При необходимости моменты явлений определяют не только для поверхности Земли, но и для высоты полета.

На горизонтальной оси графика откладывается расстояние от аэродрома вылета до аэродрома назначения, а по вертикальной оси — текущее время. Положение поворотных пунктов маршрута отмечается на горизонтальной оси в соответствии с их удалением по линии пути от ИПМ. Затем для заданных пунктов маршрута по полученным данным отмечают точки моментов наступления явлений. Точки, характеризующие одни и те же явления (рассвет,

восход и т. д.), соединяются линиями. Нанесенные линии подписываются в соответствии с явлениями, например, «Линия захода Солнца», «Линия наступления темноты». В светлой части суток делается надпись «День», а в темной — «Ночь».

По средней путевой скорости самолета и времени отхода от ИПМ рассчитываются моменты прохода основных точек маршрута. Моменты прохода пунктов отмечаются на графике точками, через которые проводится линия пути самолета. По взаимному положению линий на графике определяют условия естественного освещения на маршруте полета, а по точкам их пересечения находят моменты и место встречи самолета с соответствующими астрономическими явлениями.

**Пример.** Маршрут полета: Москва—Казань—Свердловск; длина участков маршрута: первого  $S_1 = 760$  км, второго  $S_2 = 800$  км; время вылета  $T_{\text{выл}} = 19$  ч 00 мин; средняя путевая скорость самолета: на первом участке  $W_1 = 600$  км/ч; на втором  $W_2 = 800$  км/ч; дата полета 21 мая.

**Решение.** 1. Определяем моменты захода Солнца и наступления темноты по Календарному справочнику для заданных пунктов маршрута на дату полета: Москва ЗС=20 ч 45 мин; НТ=21 ч 47 мин;

Казань ЗС = 19 ч 58 мин; НТ = 21 ч 00 мин;

Свердловск ЗС=19 ч 19 мин; НТ=20 ч 25 мин.

2. По скорости полета на участках маршрута и моменту отхода от ИПМ рассчитываем время прохода пунктов маршрута: Казань  $T = 20$  ч 16 мин; Свердловск  $T = 21$  ч 16 мин.

3. Строим график (см. рис. 8.2), на который по рассчитанным данным наносим линии захода Солнца, наступления темноты и пути самолета.

4. Производим анализ условий естественного освещения для данного маршрута. График позволяет определить условия естественного освещения в любой точке маршрута и оценить возможность применения астрономических средств в полете.

Точки пересечения линии пути самолета с линиями астрономических явлений дают следующие ответы: по горизонтальной оси—расстояние до встречи с заходом Солнца  $S_{\text{зах}} = 640$  км и расстояние до встречи с темнотой  $S_{\text{темн}} = 1130$  км; по вертикальной оси—время встречи с заходом Солнца  $T_{\text{встр. зах}} = 20$  ч 05 мин и время встречи с темнотой  $T_{\text{встр. темн}} = 20$  ч 45 мин.

## 6. ВЫПОЛНЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЙ

Астрономические расчеты, связанные с определением места самолета по высотам двух светил, занимают примерно 8—10 мин. Значительная часть этого времени уходит на расчет вычисленных высот и азимутов. При современных скоростях полета такая большая затрата времени на определение места самолета недопустима, так как самолет за это время проходит 100—150 км. Следовательно, чтобы повысить точность самолетовождения скоростных самолетов, нужно сократить время, затрачиваемое на реализацию измеряемых параметров и вычисление требуемого навигационного режима полета. Для того чтобы добиться сокращения в полете времени на расчеты АЛП и определение места самолета, штурман в период предварительной подготовки к полету выполняет астрономические предвычисления.

Сущность предвычислений заключается в том, что штурман, зная дату и время полета, заранее намечает на маршруте одну или несколько счислимых точек и время измерения высот светил. Для этих точек по их координатам для намеченных моментов времени с помощью ААЕ и ТВА или ТВАЗ рассчитываются вычисленные высоты и азимуты светил. После такого предварительного расчета в полете остается в намеченный момент времени измерить высоту светила, определить разность между измеренной и вычисленной высотой и проложить АЛП на карте.

Если фактическое время измерения, высоты светила не совпадает с расчетным, то величину несовпадения компенсируют путем изменения долготы счислимой точки.

Если измерение высоты светила в полете произведено раньше намеченного момента, то восточную долготу счислимой точки увеличивают, а если позже, то уменьшают на величину, соответствующую разности времени, выраженной в единицах дуги, т. е. долготу счислимой точки изменяют настолько, чтобы местный часовой угол или местное звездное время совпадали с теми значениями, которые брались для расчета вычисленной высоты и азимута светила.

Западную долготу счислимой точки при несовпадении момента измерения высоты светила с расчетным изменяют по обратному правилу. Предвычисления производятся на период астрономических определений на маршруте полета с интервалом через 8 или 16 мин и заносятся в специальный бланк. Указанные интервалы времени берутся потому, что они кратны 4 и значительно упрощают расчеты.

Рассмотрим на примере порядок выполнения астрономических предвычислений для дневного полета.

**Пример.** Дата полета 20 августа 1975 г.; высота полета  $H = 6000$  м; поправка секстанта  $C = -5'$ ; номер часового пояса, по времени которого идут часы,  $N_{\text{ч}} = 3$ ; по маршруту полета астрономические измерения по Солнцу намечено производить с 13 ч 00 мин до 14 ч 05 мин; координаты намеченной счислимой точки: широта  $\varphi = 48^\circ$  с; долгота  $\lambda = 32 - 33^\circ$  в. Выполнить астрономические предвычисления.

**Решение.** 1. Намечаем и записываем в бланк астрономических предвычислений моменты измерений высоты Солнца с интервалом через 16 мин (можно через 8 мин).

2. Рассчитываем с помощью ААЕ (см. приложение 5) местный часовой угол Солнца для первого момента измерения  $T = 13.00$ . Получаем:  $T_{\text{гр}} = 10.00$ ;  $t_{\text{гр}} = -329^{\circ}08'$ ;  $\lambda_{\text{п}} = 32^{\circ}52'$ ;  $t_{\text{м}} = 2^\circ$  западный.

3. Определяем местные часовые углы Солнца для остальных моментов измерения. Последующие часовые углы определяются подсчетом в уме исходя из того, что за 4 мин времени часовой угол изменяется на  $1^\circ$ .

4. Выписываем из ААЕ для всех намеченных моментов измерения склонение Солнца.

5. Определяем с помощью ТВА (см. приложение 6) для первого момента измерения вычисленную высоту и азимут Солнца. Для того чтобы в полете ускорить обработку измерений, в вычисленную высоту вводятся с обратным знаком поправка секстанта и поправка за рефракцию. Для последующих моментов измерений вычисленные высоты при постоянном индексе  $f$  определяются по ТВА по предыдущей высоте и величине изменения высоты Солнца за каждые  $4^\circ$  часового угла.

Предвычисления для всех расчетных моментов заносятся в соответствующие графы специального бланка (табл. 8.1), который берется в полет и используется для окончательного расчета астрономических линий положения. В бланке астрономических предвычислений приняты следующие обозначения:

$T$  — предвычисленный момент измерения высоты светила;  $T_{\text{изм}}$  — фактический момент измерения высоты светила;  $\Delta T$  — алгебраическая разность моментов предвычисленного и фактического измерений;  $\lambda_{\text{п}}$  — долгота расчетной счислимой точки, которая выбирается на участке маршрута, где предполагается производить астрономические определения;  $\Delta\lambda$  — разность моментов предвычисленного и фактического измерений, выраженная в единицах дуги;  $\lambda_{\text{ф}}$  — долгота фактической счислимой точки;  $\lambda_{\text{п}} = \lambda_{\text{ф}} \pm \Delta\lambda$ ;  $\varphi_{\text{п}}$  — широта счислимой точки;  $h_{\text{изм}}$  — измеренная высота светила;  $h_{\text{в}}$  — вычисленная высота светила и исправленная на поправку секстанта и поправку за рефракцию (вводятся с обратным знаком);  $\Delta h$  — разность между измеренной и вычисленной высотами в угловых величинах;  $\Delta h$  км — разность высот, переведенная в километры;  $A$  — вычисленный азимут светила;  $t_{\text{м}}$  — местный часовой угол светила;  $S_{\text{м}}$  — местное звездное время;  $\delta$  — склонение светила;  $C$  — поправка секстанта;  $r$  — поправка за рефракцию.

Т а б л и ц а 8.1

Бланк астрономических предвычислений

$T$	13.00	13.16	13.32	13.48	14.04
$T_{\text{изм}}$		13.14,35			
$\Delta T$		+0.01,25			
$\lambda_{\text{п}}$	32°52'	32°52'	32°52'	32°52'	32°52'
$\Delta\lambda$		+0°21'			
$\lambda_{\text{ф}}$		33°13'			
$\varphi_{\text{п}}$	48°	48°	48°	48°	48°
$h_{\text{изм}}$		54°09'			
$h_{\text{в}}$	54°38'	54°19'	53°41'	52°47'	51°39'
$\Delta h$		-10'			
$\Delta h$ , км		-19 км			
$A$	183°	190°	197°	203°	209°
$t_{\text{м}} (S_{\text{м}})$	2°	6°	10°	14°	18°
$\delta$	+12°35'	+12°35'	+12°35'	+12°35'	+12°35'
$C$	-5'	-5'	-5'	-5'	-5'
$r$	0'	0'	0'	0'	0'

После выполнения астрономических предвычислений для определения АЛП в полете необходимо:

измерить высоту Солнца и записать время измерения в строке  $T_{\text{изм}}$  под значением  $T$ , ближайшим к измеренному, и в той же колонке записать  $h_{\text{изм}}$ . Например,  $T_{\text{изм}} = 13.14,35$ ;  $h_{\text{изм}} = 54^{\circ}09'$ ;

определить разность моментов предвычисленного и фактического измерений и перевести ее в уме или по интерполяционным таблицам в единицы дуги:

$$\Delta T = T - T_{\text{изм}} = 13.16 - 13.14,35 = +0.01,25; \quad \Delta \lambda = +0^{\circ}21';$$

определить долготу фактической счислимой точки:

$$\lambda_{\text{ф}} = \lambda_{\text{п}} \pm \Delta \lambda = 32^{\circ}52' + 0^{\circ}21' = 33^{\circ}13';$$

определить разность высот и перевести ее в километры:

$$\Delta h = h_{\text{изм}} - h_{\text{в}} = 54^{\circ}09' - 54^{\circ}19' = -10'; \quad \Delta h = -19 \text{ км};$$

отметить на карте фактическую счислимую точку и по рассчитанному азимуту и полученной разности высот проложить АЛП (рис. 8.3), которую затем сместить в установленном порядке на величину поправки за вращение Земли.

В приведенном примере порядок записей данных в бланке астрономических предвычислений для полного расчета показан для одного момента фактического измерения 13 ч 14 мин 35 с.

Астрономические предвычисления уменьшают объем работы в полете и значительно сокращают время, необходимое для расчетов. Практика показывает, что расчет одной АЛП при наличии астрономических предвычислений сокращается в 3—4 раза и обычно не превышает 1—1,5 мин.

При полетах по воздушным трассам большой протяженности астрономические предвычисления производят для нескольких счислимых точек. В практике принято одну счислимую точку назначать для района размером  $6^{\circ}$  по широте и  $10^{\circ}$  по долготе.

Для ночных полетов астрономические предвычисления производятся в основном таким же образом, как и для дневных полетов. Расчет начинают с определения времени нахождения самолета на участках маршрута. Затем намечается район, где предполагается производить астрономические определения и предвычисленные моменты измерений. В соответствии с временем нахождения самолета на участках маршрута с помощью ТВАЗ производится выбор звезд, удобных для измерения на этих участках. Вычисленные высоты и азимуты звезд определяют по местному звездному времени, расчет которого для предвычисленных моментов через 8 или 16 мин необходимо производить с

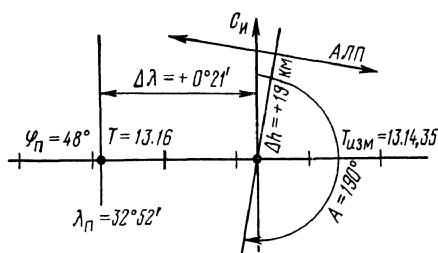


Рис. 8.3. Прокладка АЛП при использовании астрономических предвычислений

использованием интерполяционных таблиц, так как за 1 ч звездное время изменяется не на  $15^\circ$ , а на  $15^\circ 2,5'$ . Остальной порядок расчета и методика использования астрономических предвычислений в ночных полетах не отличаются от порядка и методики, рассмотренных для дневных полетов.

## 7. ПРЕДПОЛЕТНАЯ ПОДГОТОВКА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Перед полетом с применением астрономических средств штурман обязан произвести предполетную подготовку астрономических приборов, которая включает проверку их исправности и работоспособности, установку исходных данных и контроль правильности показаний приборов на земле.

В период предполетной подготовки производится проверка работы секстанта, астрокompаса и точности хода часов. Работа секстанта и астрокompаса проверяется при включенном питании бортовой сети от аэродромного источника. Проверка производится в соответствии с методикой, изложенной в 5 и 6 главах учебника.

Особое внимание при подготовке астрокompаса к полету должно быть уделено точности установки географических координат места самолета и экваториальных координат светил. Это требование является одним из важных условий правильного определения курса самолета астрокompасом.

Контроль правильности показаний астрокompаса осуществляется путем сличения его показаний с показаниями других курсовых приборов с учетом их девиации и магнитного склонения. Сличаемые истинные курсы не должны отличаться более чем на  $\pm 2^\circ$ . Одной из важнейших задач штурмана при подготовке к полету с использованием астрономических средств является обеспечение полета точным временем. Непосредственно перед полетом штурман должен проверить свои наручные часы по радиосигналам точного времени или контрольным часам и определить их поправку, а по прибытии на самолет завести бортовые часы и установить точное время на всех часах.

Известно, что точность определения места самолета с помощью астрономических средств во многом зависит от точности измерения времени. Поэтому в практике установлено, что при использовании астрономических средств при полетах на средних широтах время необходимо знать с точностью 5—7 с. При полетах в более высоких широтах допустимые ошибки в определении моментов времени возрастают и на широтах  $60$ — $70^\circ$  соответственно не должны превышать 8—12 с.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

## 1. ЗАДАЧИ

Справочные материалы, необходимые для решения почти всех задач, приведены в приложениях. Для тех задач, решение которых связано с использованием полетной карты, необходим лист карты В-III. Для проверки правильности решения задач в конце главы приведены ответы.

1. Начертить небесную сферу и показать положение светила, если  $A = 120^\circ$ ;  $h = +60^\circ$ .
2. Начертить небесную сферу и показать положение светила, если  $A = 320^\circ$ ;  $Z = 120^\circ$ .
3. Начертить небесную сферу и показать положение светила, если  $t = 60^\circ$ ;  $\delta = +50^\circ$ .
4. Начертить небесную сферу и показать положение светила, если  $\alpha = 60^\circ$ ;  $\delta = +30^\circ$ .
5. Где находится светило, если  $\delta = 0^\circ$ ?
6. Где находится светило, если  $P = 0^\circ$ ?
7. Где находится светило, если  $P = 180^\circ$ ?
8. Где находится светило, если  $Z = 90^\circ$ ?
9. Определить графически  $t$  и  $\delta$ , если  $\varphi_c = 50^\circ$ ;  $A = 240^\circ$ ;  $h = +60^\circ$ .
10. Определить графически  $A$  и  $h$ , если  $\varphi_c = 30^\circ$ ;  $t = 320^\circ$ ;  $\delta = +60^\circ$ .
11. Определить склонение звезды Вега и указать, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на  $\varphi_c = 55^\circ 32'$ .
12. Определить склонение звезды Спика и указать, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на  $\varphi_c = 80^\circ 40'$ .
13. Определить склонение звезды Капелла и указать, какой по условиям восхода и захода является данная звезда на  $\varphi_c = 32^\circ 15'$ .
14. Определить, какие светила будут незаходящими на  $\varphi_c = 48^\circ 32'$ .
15. Определить, какие светила будут невосходящими на  $\varphi_c = 52^\circ 35'$ .
16. Определить, какие светила будут восходящими и заходящими на  $\varphi_c = 35^\circ 22'$ .
17. Определить, на какой широте 22 июня Солнце не заходит.
18. Определить, на какой широте 22 декабря Солнце не восходит.
19. Определить, на какой широте будет впервые наблюдаться незаходящее Солнце, если его склонение  $\delta = +10^\circ$ .
20. Определить, на какой широте впервые Солнце не будет восходить, если его склонение  $\delta = -15^\circ$ .
21. Определить склонение звезды Процион и указать ее положение относительно зенита в момент верхней кульминации на  $\varphi_c = 15^\circ 52'$ .
22. Определить склонение звезды Альферац и указать ее положение относительно зенита в момент верхней кульминации на  $\varphi_c = 25^\circ 15'$ .
23. Определить склонение звезды Хамаль и указать ее положение относительно зенита в момент верхней кульминации на  $\varphi_c = 23^\circ 21'$ .

24. Определить склонение звезды Арктур и рассчитать ее высоту в моменты верхней и нижней кульминаций на  $\varphi_c = 54^\circ 19'$ .
25. Определить склонение звезды Алиот и рассчитать ее высоту в моменты верхней и нижней кульминаций на  $\varphi_c = 48^\circ 32'$ .
26. Определить высоту Солнца в моменты верхней и нижней кульминаций 22 декабря на  $\varphi_c = 72^\circ 38'$ .
27. Определить, на какой широте 22 июня сумерки будут длиться всю ночь.
28. Определить, на какой широте в Северном полушарии Солнце 22 декабря в момент верхней кульминации будет иметь высоту  $0^\circ$ .
29. Определить, на какой широте звезда Поллукс в момент верхней кульминации проходит через зенит.
30. Определить широту места наблюдателя, если в момент верхней кульминации 22 июня Солнце наблюдается к югу от зенита на высоте  $61^\circ 10'$ .
31. Определить широту места наблюдателя, если в момент верхней кульминации 22 июня Солнце наблюдается к северу от зенита на высоте  $70^\circ 25'$ .
32. Определить широту места наблюдателя, если в момент верхней кульминации звезда Альдебаран наблюдается к северу от зенита на высоте  $50^\circ 10'$ .
33. Определить склонение звезды Бетельгейзе и рассчитать зенитное расстояние в момент ее верхней кульминации на  $\varphi_c = 54^\circ 19'$ .
34. Определить склонение звезды Вега и рассчитать зенитное расстояние в момент ее верхней кульминации на  $\varphi_c = 30^\circ 23'$ .
35. Определить, во сколько раз видимая яркость звезды Капелла больше яркости звезды Поллукс.
36. Определить, во сколько раз видимая яркость звезды Вега больше яркости звезды Альферац.
37. Определить, во сколько раз видимая яркость звезды Сириус больше яркости Полярной звезды. Разность звездных величин округлить до целых единиц.
38. Долготу  $\lambda = 93^\circ 15'$  перевести во время.
39. Долготу  $\lambda = 50^\circ 25'$  перевести во время.
40. Долготу  $\lambda = 142^\circ 05'$  перевести во время.
41. Долготу во времени  $\lambda t = 5$  ч 22 мин 32 с перевести в единицы дуги.
42. Долготу во времени  $\lambda t = 3$  ч 13 мин 20 с перевести в единицы дуги.
43. Долготу во времени  $\lambda t = 10$  ч 27 мин 48 с перевести в единицы дуги.
44. Местное время  $T_M = 12$  ч 35 мин 10 с; долгота пункта  $\lambda_B = 32^\circ$ . Определить местное время для этого же момента в пункте, имеющем долготу  $\lambda_B = 57^\circ 03'$ .
45. Местное время  $T_M = 20$  ч 25 мин 38 с; долгота пункта  $\lambda_B = 60^\circ 15'$ . Определить местное время для этого же момента в пункте, имеющем долготу  $\lambda_B = 42^\circ 23'$ .
46. Местное время  $T_M = 10$  ч 55 мин 27 с; долгота пункта  $\lambda_B = 32^\circ 16'$ . Определить местное время для этого же момента в пункте, имеющем долготу  $\lambda_B = 15^\circ 04'$ .
47. Местное время  $T_M = 13$  ч 21 мин 37 с; долгота пункта  $\lambda_B = 48^\circ 25'$ . Определить гринвичское время.
48. Местное время  $T_M = 20$  ч 33 мин 45 с; долгота пункта  $\lambda_B = 36^\circ 07'$ . Определить гринвичское время.
49. Гринвичское время  $T_{ГР} = 18$  ч 24 мин 36 с. Определить местное время на долготе  $\lambda_B = 72^\circ 14'$ .
50. Гринвичское время  $T_{ГР} = 11$  ч 58 мин 30 с. Определить местное время на долготе  $\lambda_B = 40^\circ 50'$ .
51. Поясное время в Ленинграде  $T_{П} = 9$  ч 20 мин 42 с. Определить поясное время в Новосибирске.
52. Поясное время в Магадане  $T_{П} = 20$  ч 35 мин 50 с. Определить поясное время в Омске.
53. Гринвичское время  $T_{ГР} = 12$  ч 55 мин 23 с. Определить поясное время в Хабаровске.



54. Гринвичское время  $T_{ГР} = 10$  ч 42 мин 05 с. Определить поясное время в Ашхабаде.

55. Поясное декретное время в Иркутске  $T_{ПД} = 16$  ч 38 мин 42 с. Определить московское время.

56. Поясное декретное время в Якутске  $T_{ПД} = 14$  ч 20 мин 55 с. Определить московское время.

57. Московское время  $T_{МСК} = 7$  ч 10 мин 35 с. Определить поясное декретное время в Чите.

58. Московское время  $T_{МСК} = 20$  ч 42 мин 18 с. Определить поясное декретное время в Свердловске.

59. Местное время в Хабаровске ( $\lambda_{В} = 135^{\circ}05'$ )  $T_{М} = 21$  ч 45 мин 35 с. Определить гринвичское время, поясное время в Хабаровске и московское время.

60. Поясное время в Верхоянске ( $\lambda_{В} = 133^{\circ}24'$ )  $T_{П} = 17$  ч 54 мин 38 с. Определить гринвичское время, местное время в Верхоянске и московское время.

61. Московское время  $T_{МСК} = 16$  ч 12 мин 35 с. Определить гринвичское время, местное и поясное декретное время в Чите ( $\lambda_{В} = 113^{\circ}30'$ ).

62. Дата полета 18 октября; г. Ташкент. Определить по Календарному справочнику моменты восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты по московскому и поясному декретному времени пункта.

63. Дата полета 22 декабря; координаты пункта: широта  $\varphi_{С} = 62^{\circ}$ ; долгота  $\lambda_{В} = 129^{\circ}43'$ ; пункт находится в восьмом часовом поясе. Определить по Календарному справочнику моменты восхода и захода Солнца, наступления рассвета и темноты по московскому и поясному декретному времени пункта.

64. Дата полета 10 июля; координаты пункта: широта  $\varphi_{С} = 55^{\circ}$ ; долгота  $\lambda_{В} = 63^{\circ}$ ; пункт находится в 4-м часовом поясе. Определить по графику моменты восхода и захода Солнца по московскому и поясному декретному времени пункта.

65. Дата полета 20 мая; координаты пункта: широта  $\varphi_{С} = 45^{\circ}$ ; долгота  $\lambda_{В} = 70^{\circ}15'$ ; пункт находится в 5-м часовом поясе. Определить по графику моменты наступления рассвета и темноты по московскому и поясному декретному времени пункта.

66. Дата полета 20 августа 1975 г.; долгота места  $\lambda_{В} = 56^{\circ}32'$ . Определить по ААЕ гринвичский, местный часовой угол и склонение Солнца для времени  $T = 16$  ч 55 мин 36 с. Часы идут по 3-му часовому поясу.

67. Дата полета 20 августа 1975 г.; долгота места  $\lambda_{В} = 48^{\circ}25'$ . Определить по ААЕ гринвичский, местный часовой угол и склонение Луны для времени  $T = 22$  ч 40 мин 52 с. Часы идут по 3-му часовому поясу.

68. Дата полета 21 августа 1975 г.; долгота места  $\lambda_{В} = 60^{\circ}36'$ . Определить по ААЕ гринвичский, местный часовой угол и склонение планеты Марс для времени  $T = 2$  ч 54 мин 24 с. Часы идут по 3-му часовому поясу.

69. Дата полета 21 августа 1975 г.; долгота места  $\lambda_{В} = 35^{\circ}51'$ . Определить по ААЕ гринвичский, местный часовой угол и склонение звезды Вега для времени  $T = 1$  ч 25 мин 20 с. Часы идут по 3-му часовому поясу.

70. Дата полета 27 ноября. Определить упрощенным способом по таблице и графику (см. приложение 13) гринвичский часовой угол и склонение Солнца для  $T_{МСК} = 14$  ч 24 мин.

71. Дата полета 25 декабря 1980 г. Определить упрощенным способом по таблицам (см. приложения 14 и 15) гринвичское звездное время для  $T_{ГР} = 22$  ч 40 мин 32 с.

72. Определить с помощью ААЕ уравнение времени 20 августа 1975 г. для московского времени  $T_{МСК} = 21$  ч.

73. Пользуясь ААЕ, определить гринвичское время 20 августа в истинный полдень.

74. Пользуясь ААЕ, определить истинное солнечное время 20 августа в 0 ч гринвичского времени.

75. Дата полета 20 августа 1975 г.; широта места  $\varphi_{С} = 48^{\circ}32'$ ; долгота места  $\lambda_{В} = 32^{\circ}16'$ . Определить по ААЕ для времени  $T = 8$  ч 50 мин установочные данные для измерения ИК по Солнцу при помощи ДАК-ДБ-5. Часы идут по 3-му часовому поясу.

76. Дата полета 21 августа 1975 г.; широта места  $\varphi_c = 54^\circ 19'$ ; долгота места  $\lambda_b = 48^\circ 25'$ . Определить по ААЕ для времени  $T = 1$  ч 20 мин установочные данные для измерения ИК по звезде Вега при помощи АК-53П. Часы идут по 3-му часовому поясу.

77. Дата полета 20 августа 1975 г.; время  $T = 23$  ч 58 мин 24 с; часы идут по 3-му часовому поясу. Определить географические координаты ГМС звезды Денеб.

78. Дата полета 20 августа 1975 г.; время  $T = 19$  ч 35 мин 48 с; часы идут по 3-му часовому поясу. Определить географические координаты ГМС Солнца.

79. Дата полета 20 августа 1975 г.; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 32^\circ$  в. Определить для времени  $T = 9$  ч 36 мин 45 с вычисленную высоту и азимут Солнца в счислимой точке. Часы идут по 3-му часовому поясу.

80. Дата полета 20 августа 1975 г.; широта счислимой точки  $\varphi_n = 50^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 32^\circ$  в. Определить для времени  $T = 16$  ч 20 мин 35 с вычисленную высоту и азимут Солнца в счислимой точке. Часы идут по 3-му часовому поясу.

81. Определить вычисленную высоту и азимут планеты Венера, если  $i_M^B = 60^\circ$ ;  $\delta = -12^\circ 40'$ ;  $\varphi_n = 46^\circ$  с.

82. Определить вычисленную высоту и азимут Луны, если  $i_M^3 = 42^\circ$ ;  $\delta = -13^\circ 09'$ ;  $\varphi_n = 48^\circ$  с.

83. Дата полета 21 августа 1975 г.; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 32^\circ$  в. Определить для времени  $T = 1$  ч 15 мин 53 с вычисленную высоту и азимут звезды Альтаир в счислимой точке. Часы идут по 3-му часовому поясу.

84. Дата полета 20 августа 1975 г.; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 37^\circ$  в. Определить для времени  $T = 23$  ч 57 мин 15 с вычисленную высоту и азимут звезды Капелла в счислимой точке. Часы идут по 3-му часовому поясу.

85. Высота полета  $H = 6000$  м; измеренная высота светила  $h_{изм} = 15^\circ 12'$ . Определить высоту светила, исправленную за рефракцию.

86. Дата полета 20 августа 1975 г.; измеренная высота Луны  $h_{изм} = 31^\circ 10'$ . Определить высоту Луны, исправленную за параллакс.

87. Путевая скорость самолета  $W = 800$  км/ч; широта места  $\varphi_c = 50^\circ$ . Определить поправку за вращение Земли.

88. Путевая скорость самолета  $W = 600$  км/ч; ИПУ  $= 120^\circ$ ; азимут первой звезды  $A = 150^\circ$ ; высота второй звезды измерена через 3 мин после первой. Определить путевой пеленг и поправку к измеренной высоте первой звезды за перемещение самолета.

89. Путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; ИПУ  $= 340^\circ$ ; высота Полярной измерена через 3 мин после первой звезды. Определить поправку к высоте Полярной за перемещение самолета.

90. Дата полета 20 августа 1975 г.; время измерения высоты Полярной  $T = 23$  ч 52 мин 45 с; приближенная широта места  $\varphi_c = 48^\circ$ , приближенная долгота места  $\lambda_b = 60^\circ$ . Часы идут по времени 3-го часового пояса. Определить местное звездное время и поправку к высоте Полярной для определения широты места.

91. Широта места  $\varphi_c = 50^\circ$ ; местное звездное время  $S_M = 120^\circ$ . Определить поправку за прецессию и нутацию для 1980 г.

92. Дата полета 20 августа 1975 г.; высота полета  $H = 6000$  м; ИПУ  $= 270^\circ$  путевая скорость самолета  $W = 500$  км/ч; время измерения высоты Солнца по часам 3-го часового пояса  $T = 11$  ч 42 мин 25 с; измеренная высота Солнца  $h_{изм} = 50^\circ 15'$ ; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 30^\circ$  в; поправка секстанта  $C = +5'$ . Определить  $A$ ;  $\Delta h$ ,  $q$  и проложить АЛП на карте.

93. Дата полета 20 августа 1975 г.; высота полета  $H = 5000$  м; ИПУ  $= 100^\circ$ ; путевая скорость самолета  $W = 600$  км/ч; время измерения высоты Солнца по часам 3-го часового пояса  $T = 15$  ч 55 мин 08 с; измеренная высо-

та Солнца  $h_{изм} = 36^{\circ}02'$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_{п} = 37^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = -3'$ . Определить  $A$ ;  $\Delta h$ ;  $q$  и проложить АЛП на карте.

94. Высота полета  $H = 4000$  м; ИПУ =  $250^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 500$  км/ч; измеренная высота Луны  $h_{изм} = 20^{\circ}06'$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 52^{\circ}$  с; долгота счислимой точки  $\lambda_{п} = 31^{\circ}15'$  в, местный часовой угол Луны  $t_{м}^s = 30^{\circ}$ ; склонение Луны  $\delta = -13^{\circ}17'$ ; параллакс Луны  $P = +57'$ ; поправка секстанта  $C = +4'$ . Определить  $A$ ;  $\Delta h$ ;  $q$  и проложить АЛП на карте.

95. Высота полета  $H = 7000$  м; ИПУ =  $45^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 650$  км/ч; измеренная высота планеты Марс  $h_{изм} = 28^{\circ}58'$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; долгота счислимой точки  $\lambda_{п} = 32^{\circ}10'$  в; местный часовой угол Марса  $t_{м}^s = 60^{\circ}$ ; склонение Марса  $\delta = +12^{\circ}47'$ ; поправка секстанта  $C = +5'$ . Определить  $A$ ;  $\Delta h$ ;  $q$  и проложить АЛП на карте.

96. Дата полета 21 августа 1975 г.; высота полета  $H = 8000$  м; ИПУ =  $230^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; время измерения, высоты звезды Вега по часам 3-го часового пояса  $T = 2$  ч 12 мин 52 с; измеренная высота  $h_{изм} = 42^{\circ}03'$ ; широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_{п} = 30^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = -6'$ . Определить  $A$ ;  $\Delta h$ ;  $q$ , поправку за прецессию и нутацию и проложить АЛП на карте.

97. Дата полета 21 августа 1975 г.; высота полета  $H = 10\,000$  м; ИПУ =  $210^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 800$  км/ч; время измерения высоты Полярной по часам 3-го часового пояса;  $T = 1$  ч 44 мин 56 с; измеренная высота  $h_{пол} = 48^{\circ}45'$ ; приближенная широта места  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; приближенная долгота места  $\lambda_{п} = 31^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = +7'$ . Определить широту места по высоте Полярной, поправки за вращение Земли, прецессию и нутацию и проложить АЛП на карте.

98. Дата полета 20 августа 1975 г.; высота полета  $H = 8000$  м; ИПУ =  $230^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 700$  км/ч; время измерения высоты звезды Альферац  $T = 0$  ч 24 мин 35 с; измеренная высота звезды Альферац  $h_{изм} = 54^{\circ}32'$ ; время измерения высоты звезды Альтаир  $T = 0$  ч 27 мин 32 с; измеренная высота звезды Альтаир  $h_{изм} = 45^{\circ}09'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса; широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; приближенная долгота счислимой точки для звезды Альферац  $\lambda_{п} = 32^{\circ}$  в; приближенная долгота счислимой точки для звезды Альтаир  $\lambda_{п} = 31^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = -5'$ . Рассчитать астрономические линии положения, проложить их на карте и определить место самолета.

99. Дата полета 20 августа 1975 г.; высота полета  $H = 7000$  м; ИПУ =  $50^{\circ}$ ; путевая скорость самолета  $W = 800$  км/ч; время измерения звезды Вега  $T = 0$  ч 36 мин 25 с; измеренная высота звезды Вега  $h_{изм} = 50^{\circ}44'$ ; время измерения высоты Полярной звезды  $T = 0$  ч 39 мин 20 с; измеренная высота Полярной  $h_{пол} = 49^{\circ}27'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса: широта счислимой точки  $\varphi_{п} = 48^{\circ}$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_{п} = 30^{\circ}$  в; поправка секстанта  $C = +5$ . Рассчитать астрономические линии положения, проложить их на карте и определить место самолета.

100. Дата 15 августа; точное время  $T_1 = 9$  ч 00 мин 00 с; поправка часов  $U_1 = +20$  с; точное время  $T_2 = 17$  ч 00 мин 00 с той же календарной даты; поправка часов  $U_2 = +32$  с. Определить суточный ход часов.

101. Дата 24 июня; точное время  $T_1 = 6$  ч 00 мин 00 с; поправка часов  $U_1 = -32$  с; точное время  $T_2 = 12$  ч 00 мин 00 с той же календарной даты; поправка часов  $U_2 = -36$  с. Определить суточный ход часов.

102. Дата 3 ноября; точное время  $T_1 = 9$  ч 00 мин 00 с; поправка часов  $U_1 = -25$  с; точное время  $T_2 = 14$  ч 00 мин 00 с той же календарной даты, поправка часов  $U_2 = -15$  с. Определить суточный ход часов.

103. Перед вылетом в  $T_1 = 12$  ч была определена поправка часов  $U_1 = +20$  с; суточный ход часов  $\omega = +12$  с. Определить поправку часов  $U_2$  для  $T_2 = 20$  ч той же календарной даты.

104. Перед вылетом в  $T_1 = 15$  ч была определена поправка часов  $U_1 = -18$  с; суточный ход часов  $\omega = +20$  с. Определить поправку часов  $U_2$  для  $T_2 = 21$  ч той же календарной даты.

105. Дата 20 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 48^\circ 31'$ ; долгота  $\lambda_b = 32^\circ 16'$ ; измеренная высота Солнца в момент верхней кульминации  $h_{изм} = 54^\circ 11'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса. Определить время верхней кульминации Солнца и поправку секстанта по высоте в момент его кульминации.

106. Дата 31 декабря 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 54^\circ 19'$ ; долгота  $\lambda_b = 48^\circ 25'$ ; измеренная высота планеты Марс в момент верхней кульминации  $h_{изм} = 61^\circ 33'$ ; склонение Марса  $\delta = +25^\circ 58'$ ; для  $T_{гр} = 19$  ч гринвичский часовой угол Марса  $t_{гр} = 308^\circ 34'$ ; часы идут по времени 4-го часового пояса. Определить время верхней кульминации Марса и поправку секстанта по высоте в момент его кульминации.

107. Дата 20 августа 1975 г.; координаты наблюдателя: широта  $\varphi_c = 50^\circ 27'$ ; долгота  $\lambda_b = 30^\circ 30'$ ; измеренная высота звезды Вега в момент ее верхней кульминации  $h_{изм} = 78^\circ 16'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса. Определить время верхней кульминации звезды Вега и поправку секстанта по высоте в момент ее кульминации.

108. Дата 20 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 48^\circ 34'$ ; долгота  $\lambda_b = 32^\circ 16'$ ; время измерения высоты Солнца  $T = 16$  ч 25 мин 36 с; измеренная высота  $h_{изм} = 33^\circ 46'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$ ; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 31^\circ$ . Рассчитать АЛП, проложить ее на карте и определить поправку секстанта.

109. Дата 20 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 48^\circ 34'$ ; долгота  $\lambda_b = 32^\circ 16'$ ; время измерения высоты Солнца  $T = 9$  ч 40 мин 25 с; измеренная высота  $h_{изм} = 36^\circ 12'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$ ; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 32^\circ$ . Рассчитать АЛП, проложить ее на карте и определить поправку секстанта.

110. Дата 21 августа 1975 г.; координаты места наблюдателя: широта  $\varphi_c = 48^\circ 34'$ ; долгота  $\lambda_b = 32^\circ 16'$ ; время измерения высоты звезды Капелла  $T = 1$  ч 38 мин 45 с; измеренная высота  $h_{изм} = 28^\circ 25'$ ; часы идут по времени 3-го часового пояса; широта счислимой точки  $\varphi_n = 48^\circ$  с; приближенная долгота счислимой точки  $\lambda_n = 31^\circ$  в. Рассчитать АЛП, проложить ее на карте и определить поправку секстанта.

## 2. ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

1. См. рис. 9.1. 2. См. рис. 9.2. 3. См. рис. 9.3. 4. См. рис. 9.4. 5. На небесном экваторе. 6. На Северном полюсе мира. 7. На Южном полюсе мира. 8. На горизонте. 9.  $t = 30^\circ$ ;  $\delta = +20^\circ$  (см. рис. 9.5). 10.  $A = 40^\circ$ ;  $h = +60^\circ$  (см. рис. 9.6). 11.  $\delta = +38^\circ 46'$ ; незаходящая. 12.  $\delta = -11^\circ 02'$ ; невосходящая. 13.  $\delta = +45^\circ 58'$ ; восходящая и заходящая. 14. Светила, имеющие склонение  $\delta \geq 41^\circ 28'$ . 15. Светила, имеющие склонение  $\delta \leq -37^\circ 25'$ . 16. Светила, имеющие склонение  $\delta < 54^\circ 38'$ . 17. На северной широте  $66^\circ 34'$ . 18. На северной широте  $66^\circ 34'$ . 19. На северной широте  $80^\circ$ . 20. На северной широте  $75^\circ$ . 21.  $\delta = +5^\circ 17'$ ; кульминирует к югу от зенита. 22.  $\delta = +28^\circ 57'$ ; кульминирует к северу от зенита. 23.  $\delta = +23^\circ 21'$ ; кульминирует в зените. 24.  $\delta = +19^\circ 19'$ ;  $h_{вк} = +55^\circ 00'$ ;  $h_{нк} = -16^\circ 22'$ . 25.  $\delta = +56^\circ 06'$ ;  $h_{вк} = +82^\circ 26'$ ;  $h_{нк} = +14^\circ 38'$ . 26.  $h_{вк} = -6^\circ 04'$ ;  $h_{нк} = -40^\circ 48'$ . 27. На северной широте  $60^\circ 34'$ . 28. На широте  $66^\circ 34'$ . 29. На северной широте  $28^\circ 05'$ . 30. Северная широта  $52^\circ 16'$ . 31. Северная широта  $3^\circ 51'$ . 32. Южная широта  $23^\circ 22'$ . 33.  $\delta = +7^\circ 24'$ ;  $Z = 46^\circ 55'$ . 34.  $\delta = +38^\circ 46'$ ;  $Z = 8^\circ 23'$ . 35. В 2,5 раза. 36. В 6,25 раза. 37. В 39 раз. 38.  $\lambda t = 6$  ч 13 мин. 39.  $\lambda t = 3$  ч 21 мин 40 с. 40.  $\lambda t = 9$  ч 28 мин 20 с. 41.  $\lambda = 80^\circ 38'$ . 42.  $\lambda = 48^\circ 20'$ . 43.  $\lambda = 156^\circ 57'$ . 44.  $T_M = 14$  ч 15 мин 22 с. 45.  $T_M = 19$  ч 14 мин 10 с. 46.  $T_M = 7$  ч 46 мин 07 с. 47.  $T_{гр} = 10$  ч 07 мин 57 с. 48.  $T_{гр} = 22$  ч 58 мин 13 с. 49.  $T_M = 23$  ч 13 мин 32 с. 50.  $T_M = 9$  ч 15 мин 10 с. 51.  $T_{п} = 13$  ч 20 мин 42 с. 52.  $T_{п} = 15$  ч 35 мин 50 с. 53.  $T_{п} = 21$  ч 55 мин 23 с. 54.  $T_{п} = 14$  ч 42 мин 05 с. 55.  $T_{мск} = 11$  ч 38 мин 42 с. 56.  $T_{мск} = 8$  ч 20 мин 55 с. 57.  $T_{пл} = 13$  ч 10 мин 35 с. 58.  $T_{пл} = 22$  ч 42 мин 18 с. 59.  $T_{гр} = 12$  ч 45 мин 15 с.;  $T_{п} = 21$  ч 45 мин 15 с;

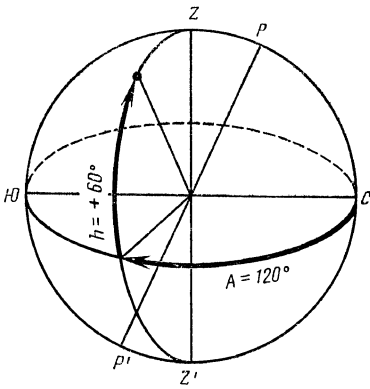


Рис. 9.1. Ответ на задачу 1

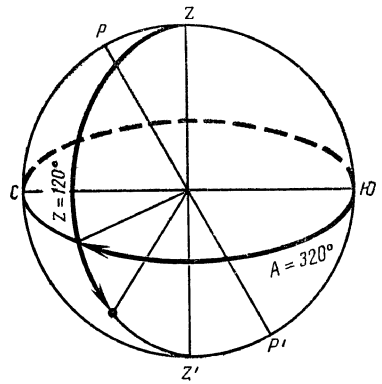


Рис. 9.2. Ответ на задачу 2

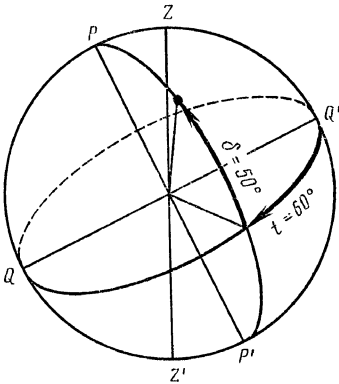


Рис. 9.3. Ответ на задачу 3

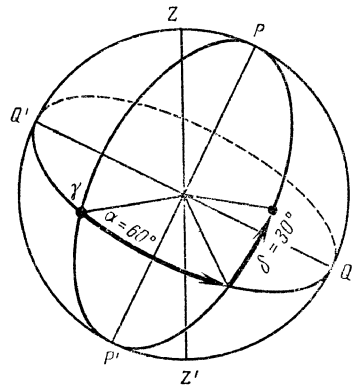


Рис. 9.4. Ответ на задачу 4

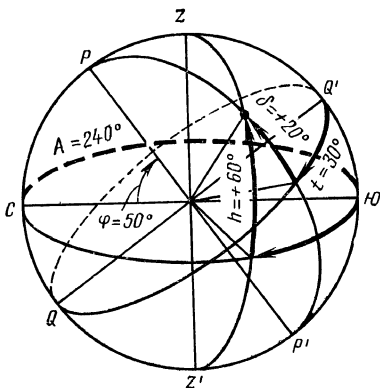


Рис. 9.5. Ответ на задачу 9

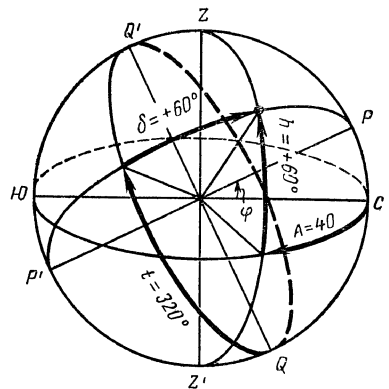


Рис. 9.6. Ответ на задачу 10

$T_{\text{мск}} = 15 \text{ ч } 45 \text{ мин } 15 \text{ с.}$  60.  $T_{\text{гр}} = 8 \text{ ч } 54 \text{ мин } 38 \text{ с;}$   $T_{\text{м}} = 17 \text{ ч } 48 \text{ мин } 14 \text{ с;}$   
 $T_{\text{мск}} = 11 \text{ ч } 54 \text{ мин } 38 \text{ с.}$  61.  $T_{\text{гр}} = 13 \text{ ч } 12 \text{ мин } 35 \text{ с;}$   $T_{\text{м}} = 20 \text{ ч } 46 \text{ мин } 35 \text{ с;}$   
 $T_{\text{пл}} = 22 \text{ ч } 12 \text{ мин } 35 \text{ с.}$  62. По  $T_{\text{мск}}:$   $BC = 4 \text{ ч } 37 \text{ мин;}$   $3C = 15 \text{ ч } 39 \text{ мин;}$   
 $HP = 4 \text{ ч } 04 \text{ мин;}$   $HT = 16 \text{ ч } 12 \text{ мин.}$  По  $T_{\text{пл}}:$   $BC = 7 \text{ ч } 37 \text{ мин;}$   $3C = 18 \text{ ч } 39 \text{ мин;}$   
 $HP = 7 \text{ ч } 04 \text{ мин;}$   $HT = 19 \text{ ч } 12 \text{ мин.}$  63. По  $T_{\text{мск}}:$   $BC = 3 \text{ ч } 45 \text{ мин;}$   
 $3C = 8 \text{ ч } 54 \text{ мин;}$   $HP = 2 \text{ ч } 29 \text{ мин;}$   $HT = 10 \text{ ч } 10 \text{ мин.}$  По  $T_{\text{пл}}:$   $BC = 9 \text{ ч } 45 \text{ мин;}$   
 $3C = 14 \text{ ч } 54 \text{ мин;}$   $HP = 8 \text{ ч } 29 \text{ мин;}$   $HT = 16 \text{ ч } 10 \text{ мин.}$  64. По  $T_{\text{мск}}:$   
 $BC = 2 \text{ ч } 18 \text{ мин;}$   $3C = 19 \text{ ч } 13 \text{ мин.}$  По  $T_{\text{пл}}:$   $BC = 4 \text{ ч } 18 \text{ мин;}$   $3C = 21 \text{ ч } 13 \text{ мин.}$  65. По  $T_{\text{мск}}:$   $HP = 2 \text{ ч } 09 \text{ мин;}$   $HT = 18 \text{ ч } 19 \text{ мин.}$  По  $T_{\text{пл}}:$   $HP = 5 \text{ ч } 09 \text{ мин;}$   
 $HT = 21 \text{ ч } 19 \text{ мин.}$  66.  $t_{\text{гр}} = 28^{\circ}02';$   $t_{\text{м}} = 84^{\circ}34';$   $\delta = +12^{\circ}32'.$  67.  $t_{\text{гр}} = 306^{\circ}44';$   
 $t_{\text{м}} = 355^{\circ}09';$   $\delta = -11^{\circ}21'.$  68.  $t_{\text{гр}} = 263^{\circ}04';$   $t_{\text{м}} = 323^{\circ}40';$   
 $\delta = +19^{\circ}42'.$  69.  $t_{\text{гр}} = 25^{\circ}57';$   $t_{\text{м}} = 61^{\circ}48';$   $\delta = +38^{\circ}46'.$  70.  $t_{\text{гр}} = 354^{\circ};$   
 $\delta = -21'.$  71.  $S_{\text{гр}} = 74^{\circ}43'.$  72.  $\eta = +3 \text{ мин } 24 \text{ с.}$  73.  $T_{\text{гр}} = 12 \text{ ч } 03 \text{ мин } 28 \text{ с.}$  74.  $T_{\odot} = 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 24 \text{ с.}$  75.  $t_{\text{гр}} = 266^{\circ}37';$   $\delta = +12^{\circ}39';$   $\varphi_{\text{с}} = 48^{\circ}32';$   
 $\lambda_{\text{в}} = 32^{\circ}16'.$  76.  $t_{\text{гр}} = 24^{\circ}37';$   $\delta = +38^{\circ}46';$   $\varphi_{\text{с}} = 54^{\circ}19';$   $\lambda_{\text{в}} = 48^{\circ}25'.$   
77.  $\varphi_{\text{ГМС}} = 45^{\circ}11' \text{ с;}$   $\lambda_{\text{ГМС}} = 26^{\circ}59' \text{ в.}$  78.  $\varphi_{\text{ГМС}} = 12^{\circ}30' \text{ с;}$   $\lambda_{\text{ГМС}} = 68^{\circ}05' \text{ з.}$   
79.  $t_{\text{м}}^{\text{в}} = 50^{\circ};$   $\delta = +13^{\circ} - 22';$   $h_{\text{в}} = 35^{\circ}35';$   $A = 113^{\circ}.$  80.  $t_{\text{м}}^{\text{з}} = 52^{\circ};$   $\delta = +13^{\circ} - 27';$   
 $h_{\text{в}} = 33^{\circ}33';$   $A = 248^{\circ}.$  81.  $\delta = -13^{\circ} + 20';$   $h_{\text{в}} = 10^{\circ}26';$   $A = 121^{\circ}.$  82.  $\delta = -13^{\circ}09';$   
 $h_{\text{в}} = 18^{\circ}22';$   $A = 223^{\circ}.$  83.  $S_{\text{м}} = 335^{\circ};$   $h_{\text{в}} = 39^{\circ}35';$   $A = 232^{\circ}.$  84.  $S_{\text{м}} = 320^{\circ};$   
 $h_{\text{в}} = 18^{\circ}08';$   $A = 40^{\circ}.$  85.  $h_{\text{испр}} = 15^{\circ}10'.$  86.  $h_{\text{испр}} = 31^{\circ}57'.$  87.  $q = 16 \text{ км.}$  88.  $ПП = 30^{\circ};$   $E = +14'.$  89.  $D = -18'.$  90.  $S_{\text{м}} = 342^{\circ};$   
 $\Delta\varphi_{\text{пол}} = -34'.$  91.  $A = 100^{\circ};$   $l = 11 \text{ км.}$  92.  $A = 148^{\circ};$   $\Delta h = -61 \text{ км;}$   $q = 10 \text{ км.}$  93.  $A = 247^{\circ};$   
 $\Delta h = +50 \text{ км;}$   $q = 12 \text{ км.}$  94.  $A = 211^{\circ};$   $\Delta h = -65 \text{ км;}$   $q = 10 \text{ км.}$  95.  $A = 104^{\circ};$   $\Delta h = -41 \text{ км;}$   $q = 13 \text{ км.}$  96.  $A = 286^{\circ};$   
 $\Delta h = +67 \text{ км;}$   $q = 14 \text{ км;}$  поправка за прецессию и нутацию  $A = 60^{\circ};$   $l = 4 \text{ км.}$  97.  $\varphi = 48^{\circ}19';$   $q = 16 \text{ км;}$  поправка за прецессию и нутацию  $A = 50^{\circ};$   $l = 3 \text{ км.}$  98. Альферац:  $A = 108^{\circ};$   $ПП = 230^{\circ};$   $E = -11';$   $\Delta h = +20 \text{ км.}$   
Альтаир:  $A = 216^{\circ};$   $\Delta h = -61 \text{ км;}$  поправка за вращение Земли  $q = 13 \text{ км;}$  поправка за прецессию и нутацию  $A = 50^{\circ};$   $l = 3 \text{ км.}$   
Место самолета ко времени измерения высоты второго светила — 36 км ю. в. Кировограда. 99. Вега:  $A = 277^{\circ};$   $\Delta h = +31 \text{ км.}$   
Полярная:  $\Delta\varphi_{\text{пол}} = -27';$   $D = -14';$   $\varphi = 48^{\circ}51'.$   
Поправка за вращение Земли  $q = 16 \text{ км;}$  поправка за прецессию и нутацию  $A = 50^{\circ};$   $l = 3 \text{ км.}$  Место самолета ко времени измерения высоты первого светила — г. Умань. 100. Суточный ход  $\omega = +36 \text{ с.}$  101. Суточный ход  $\omega = -16 \text{ с.}$  102. Суточный ход  $\omega = +48 \text{ с.}$  103. Поправка часов  $U_2 = +24 \text{ с.}$  104. Поправка часов  $U_2 = -13 \text{ с.}$  105. Время кульминации Солнца  $T = 12 \text{ ч } 54 \text{ мин } 28 \text{ с;}$  поправка секстанта  $C = -6'.$  106. Время кульминации Марса  $T = 23 \text{ ч } 12 \text{ мин } 04 \text{ с;}$  поправка секстанта  $C = +7'.$  107. Время кульминации Вегы  $T = 21 \text{ ч } 40 \text{ мин } 16 \text{ с;}$  поправка секстанта  $C = +3'.$  108.  $A = 249^{\circ};$   $\Delta h = -61 \text{ км;}$   $S = 17 \text{ км;}$   $C = -9'.$  109.  $A = 115^{\circ};$   $\Delta h = -70 \text{ км;}$   $S = 7 \text{ км;}$   $C = +4'.$  110.  $A = 51^{\circ};$   $\Delta h = +80 \text{ км;}$  поправка за прецессию и нутацию  $A = 50^{\circ};$   $l = 3 \text{ км;}$   $S = 11 \text{ км;}$   $C = -6'.$

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ,  
ПРИНЯТЫЕ В АВИАЦИОННОЙ АСТРОНОМИИ**

*1. Точки и линии*

- $Z$  — зенит  
 $Z'$  — надир  
 $P$  — Северный полюс мира  
 $P'$  — Южный полюс мира  
 $\Upsilon$  — точка весеннего равноденствия  
 $\sphericalangle$  — точка осеннего равноденствия  
 $E$  — точка летнего солнцестояния  
 $E'$  — точка зимнего солнцестояния  
 $q'$  — точка верхней кульминации светила  
 $q$  — точка нижней кульминации светила  
 $C$  — точка севера на истинном горизонте  
 $Ю$  — точка юга на истинном горизонте  
 $B$  — точка востока на истинном горизонте  
 $З$  — точка запада на истинном горизонте  
 $Q$  — точка севера на небесном экваторе  
 $Q'$  — точка юга на небесном экваторе  
 $\odot$  — истинное Солнце  
 $\otimes$  — среднее Солнце  
 $\star$  — звезда  
 АЛП — астрономическая линия положения  
 ГМС — географическое место светила
- 2. Координаты. Направления. Угловые величины*
- $h$  — высота светила над горизонтом

- $h_{\text{изм}}$  — измеренная высота светила  
 $h_{\text{испр}}$  — исправленная высота светила  
 $h_{\text{в}}$  — вычисленная высота светила  
 $h_{\text{та бл}}$  — табличная высота светила  
 $h_{\text{пол}}$  — высота Полярной звезды  
 $\Delta h'$  — разность высот светила, выраженная в минутах дуги  
 $\Delta h_{\text{км}}$  — разность высот светила, выраженная в километрах  
 $A$  — азимут светила  
 $A_{\text{та бл}}$  — табличный азимут светила  
 $t$  — часовой угол светила  
 $t_{\text{ГР}}$  — гринвичский часовой угол светила  
 $t_{\text{м}}$  — местный часовой угол светила  
 $\delta$  — склонение светила  
 $\alpha$  — прямое восхождение светила  
 $P$  — полярное расстояние светила  
 $Z$  — зенитное расстояние светила  
 $\varphi$  — географическая широта  
 $\lambda$  — географическая долгота  
 $\varphi_{\text{п}}$  — широта счислимой точки  
 $\lambda_{\text{п}}$  — долгота счислимой точки
- 3. Элементы времени*
- $T_{\text{ГР}}$  — гринвичское время (средне-солнечное)  
 $T_{\text{м}}$  — местное время  
 $T_{\text{п}}$  — поясное время  
 $T_{\text{д}}$  — декретное время  
 $T$  — показание часов  
 $t$  — промежуток времени  
 $t_{\odot}$  — истинное солнечное время

#### 4. Поправки

$t_{\otimes}$  — среднее солнечное время  
 $S$  — звездное время  
 $S_{ГР}$  — звездное гринвичское время  
 $S_{М}$  — звездное местное время  
 $\omega$  — суточный ход часов  
 $N$  — номер часового пояса, в котором расположен данный пункт  
 $N_{ч}$  — номер часового пояса, по времени которого идут часы  
 $\Delta N$  — разность номеров часовых поясов

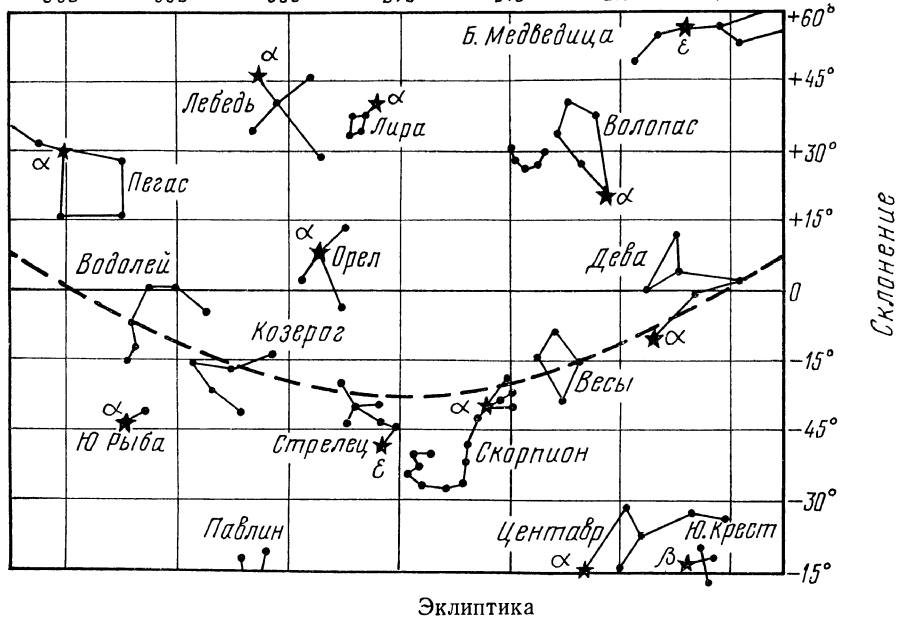
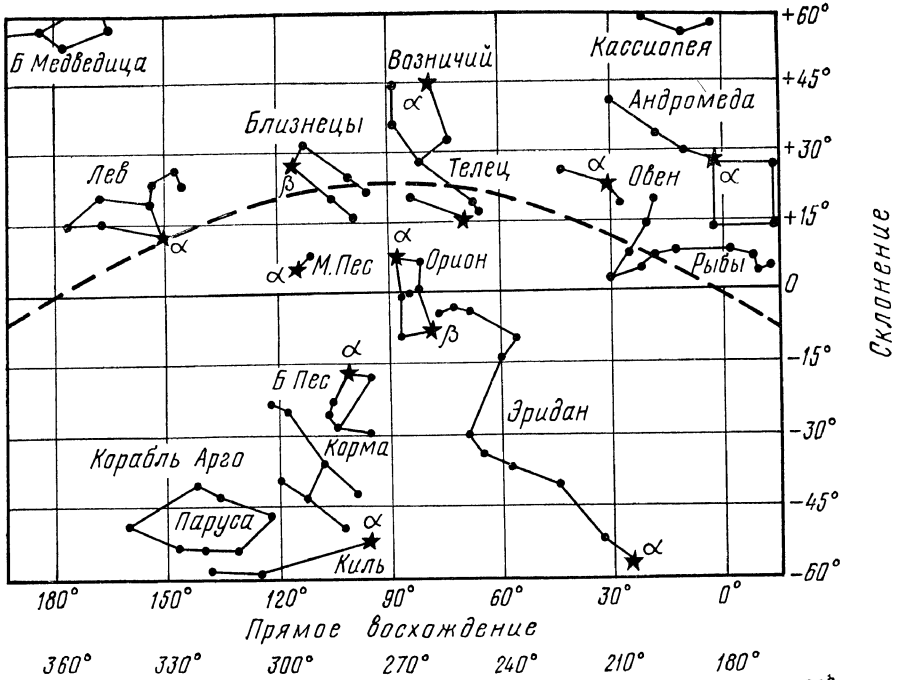
$C$  — поправка секстанта  
 $r$  — поправка за рефракцию земной атмосферы  
 $P$  — поправка за параллакс Луны  
 $q$  — поправка за вращение Земли  
 $E$  — поправка за перемещение самолета  
 $D$  — поправка за перемещение самолета для Полярной звезды  
 $A/l$  — поправка за прецессию и нугацию

#### Приложение 2

#### Экваториальные координаты навигационных звезд на начало 1975 г.

Звезда	Звездная величина $m$	Прямое восхождение $\alpha$	Склонение $\delta$
Альферац ( $\alpha$ Андромеды)	2,15	1°46'	+28°57'
Полярная ( $\alpha$ М. Медведицы)	2,12	31 52	+89 09
Алиот ( $\epsilon$ Б. Медведицы)	1,68	193 14	+56 06
Регул ( $\alpha$ Льва)	1,34	151 46	+12 05
Денеб ( $\alpha$ Лебеда)	1,33	310 09	+45 11
Фомальгаут ( $\alpha$ Южн. Рыбы)	1,29	344 04	—29 45
Антарес ( $\alpha$ Скорпиона)	1,22	246 58	—26 23
Поллукс ( $\beta$ Близнецов)	1,21	115 57	+28 05
Спика ( $\alpha$ Девы)	1,21	200 58	—11 02
Бетельгейзе ( $\alpha$ Ориона)	0,1—1,2	88 27	+ 7 24
Альдебаран ( $\alpha$ Тельца)	1,06	68 37	+16 28
Альтаир ( $\alpha$ Орла)	0,89	297 23	+ 8 48
Процион ( $\alpha$ М. Пса)	0,48	114 30	+ 5 17
Ригель ( $\beta$ Ориона)	0,34	78 20	— 8 14
Арктур ( $\alpha$ Волопаса)	0,24	213 38	+19 19
Капелла ( $\alpha$ Возничего)	0,21	78 43	+45 58
Вега ( $\alpha$ Лиры)	0,14	279 01	+38 46
Сириус ( $\alpha$ Б. Пса)	—1,58	101 01	—16 41
Канопус ( $\alpha$ Арго)	—0,86	95 51	—52 41
Ахернар ( $\alpha$ Эридана)	0,6	24 12	—57 22
$\alpha$ Центавра	0,3—1,7	219 28	—60 44
$\beta$ Южн. Креста	1,50	191 34	—59 33
$\alpha$ Южн. Треугольника	1,88	251 30	—68 59
$\epsilon$ Стрельца	1,95	275 38	—34 24
Пикок ( $\alpha$ Павлина)	2,12	305 55	—56 49
Хамаль ( $\alpha$ Овна)	2,23	31 26	+23 21





Эклиптика

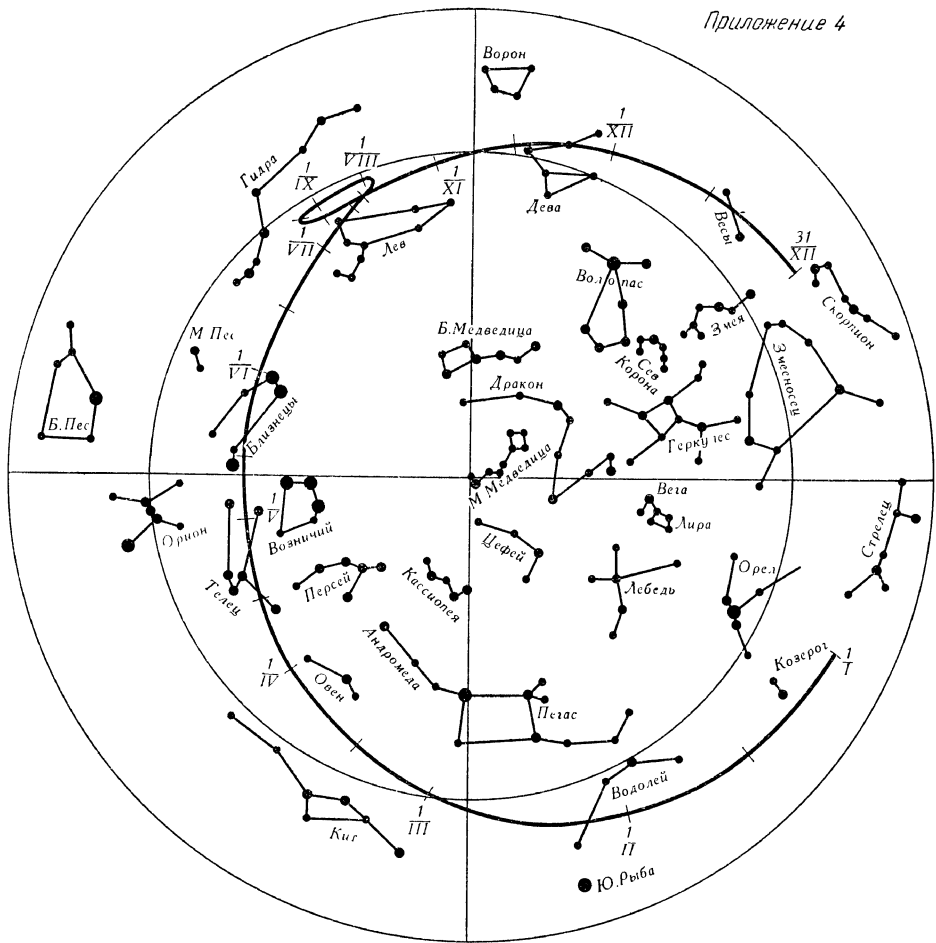


Схема перемещения по звездному небу планеты Венера в 1975 г.

Лист авиационного астрономического ежегодника 1975 г., 20 августа, среда

Ф, град	Восх. Солнца Сут. изм.	Зах. Солнца Сут. изм.	Прод. сум.		Восх. Луны Сут. изм.	Зах. Луны Сут. изм.
			Гражд.	Навиг.		
С 90	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
88	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
84	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
82	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
78	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21 <sup>ч</sup> .8	—
76	01 <sup>ч</sup> 03 <sup>М</sup> —23 <sup>М</sup>	22 <sup>ч</sup> 46 <sup>М</sup> +17 <sup>М</sup>	///	///	20.8	—

Ф, град	Восх. Солнца Сут. изм.	Зах. Солнца Сут. изм.	Прод. сум.		Восх. Луны Сут. изм.	Зах. Луны Сут. изм.
			Гражд.	Навиг.		
74	02 <sup>ч</sup> 15 <sup>м</sup> —9 <sup>м</sup>	21 <sup>ч</sup> 45 <sup>м</sup> +9 <sup>м</sup>	""	""	20.2+0 <sup>ч</sup> .6	00 <sup>ч</sup> .4
72	02 52 —6	21 10 +6	""	""	19.8+0.3	01.3—2 <sup>ч</sup> .2
70	03 18 —5	20 45 +5	1 <sup>ч</sup> 47 <sup>м</sup>	""	19.5+0.2	01.8—1.8
68	03 37 —4	20 27 +4	1 22	""	19.3 0.0	02.1—1.6
66	03 52 —3	20 12 +4	1 09	""	19.0—0.1	02.4—1.5
64	04 05 —3	20 00 +3	1 00	2 <sup>ч</sup> 45 <sup>м</sup>	18.9—0.1	02.7—1.4
62	04 15 —2	19 50 +3	0 54	2 16	18.7—0.2	02.9—1.3
60	04 24 —2	19 41 +3	0 49	1 59	18.6—0.3	03.0—1.3
58	04 32 —2	19 33 +2	0 45	1 47	18.5—0.3	03.2—1.2
56	04 39 —2	19 26 +2	0 42	1 38	18.4—0.4	03.3—1.2
54	04 45 —1	19 20 +2	0 39	1 30	18.3—0.4	03.4—1.1
52	04 51 —2	19 15 +2	0 37	1 24	18.2—0.4	03.5—1.1
50	04 56 —1	19 10 +2	0 35	1 19	18.1—0.4	03.6—1.1
45	05 07 —1	18 59 +1	0 31	1 10	18.0—0.4	03.8—1.0
40	05 16 —1	18 51 +1	0 29	1 03	17.8—0.5	04.0—1.0
30	05 30 0	18 37 +1	0 25	0 54	17.6—0.6	04.2—0.9
20	05 41 0	18 26 0	0 23	0 49	17.5—0.7	04.4—0.9
С 10	05 51 0	18 16 0	0 22	0 47	17.3—0.7	04.6—0.8
00	06 00 0	18 07 0	0 21	0 46	17.2—0.8	04.8—0.8
Ю10	06 09 0	17 58 0	0 21	0 46	17.0—0.8	04.9—0.7
20	06 19 0	17 49 0	0 22	0 48	16.9—0.9	05.1—0.7
30	06 29 +1	17 38 —1	0 24	0 53	16.7—0.9	05.3—0.6
40	06 42 +1	17 25 —1	0 28	0 59	16.5—0.9	05.6—0.5
50	07 00 +2	17 08 —1	0 33	1 11	16.2—1.1	05.9—0.5
Ю60	07 27 +2	16 40 —2	0 44	1 33	15.7—1.3	06.4—0.3

Продолж. прилож. 5

## Лист авиационного астрономического ежегодника 1975 г., 20 августа, среда

Луна					Параллакс Луны			
$T_{гр}$	$t_{гр}$	$\bar{\Delta}$	$\delta$	$\Delta$	Высота Луны	$\rho$	Высота Луны	$\rho$
0 <sup>ч</sup>	20 <sup>ч</sup> 29'	+13'	—14° 13'	+08'	0°	+	54°	+
1	35 01	+13	—14 05	+08	4	55'	55	32'
2	49 33	+13	—13 57	+08	12	54	57	31
3	64 06	+14	—13 48	+09	16	53	58	30
4	78 38	+13	—13 40	+08	16	52	58	29
		+14		+09	20	51	59	28
5	93 11	+13	—13 31	+08	23	50	60	27
6	107 43	+14	—13 23	+09	25	49	61	26
7	122 16	+13	—13 14	+08	28	48	63	25
8	136 48	+13	—13 06	+08	30	48	64	25
9	151 21	+14	—12 57	+09	32	47	65	24
		+14		+09	32	46	65	23
10	165 54	+14	—12 48	+09	34	45	66	22
11	180 27	+13	—12 39	+09	36	44	67	21
12	194 59	+14	—12 30	+09	38	43	68	20
		+14		+09	38	43	68	20

Луна					Параллакс Луны			
$T_{ГР}$	$t_{ГР}$	$\bar{\Delta}$	$\delta$	$\Delta$	Высота Луны	$\rho$	Высота Луны	$\rho$
13 <sup>ч</sup>	209°32'	+14'	-12°21'	+09'	39°	+	70°	+
14	224 05	+14	-12 12	+09	41	42'	71	19'
15	238 38	+14	-12 03	+09	43	41	72	18
16	253 11	+14	-11 54	+09	44	40	73	17
17	267 44	+14	-11 45	+09	46	39	74	16
18	282 17	+14	-11 36	+09	47	38	75	15
19	296 50	+14	-11.27	+09	49	37	76	14
20	311 23	+15	-11 18	+10	50	36	77	13
21	325 57	+14	-11 08	+09	51	35	78	12
22	340 30	+14	-10 59	+09	53	34	79	11
23	355 03	+15	-10 50	+10	54	33	80	10
24	9 37	+15	-10 40	+10				

Фаза Луны: Полнолуние 21 августа 19 ч 48 мин

Продолж. прилож. 5

## Лист авиационного астрономического ежегодника 1975 г., 20 августа, среда

$T_{ГР}$	Звезды		Солнце			Венера	
	$S_{ГР}$	$t_{ГР}$	$\delta$	$\alpha$	$t_{ГР}$	$\delta$	
0 <sup>ч</sup>	327°43'	179°06'	+12°44'	148°37'	170°50'	+1°29'	
1	342 45	194 06	+12 43	148 39	185 54	+1 30	
2	357 48	209 06	+12 42	148 41	200 58	+1 30	
3	12 50	224 06	+12 41	148 44	216 01	+1 30	
4	27 52	239 07	+12 40	148 46	231 05	+1 30	
5	42 55	254 07	+12 39	148 48	246 09	+1 30	
6	57 57	269 07	+12 39	148 50	261 13	+1 30	
7	73 00	284 07	+12 38	148 53	276 17	+1 30	
8	88 02	299 07	+12 37	148 55	291 21	+1 30	
9	103 05	314 07	+12 36	148 57	306 24	+1 31	
10	118 07	329 08	+12 35	149 00	321 28	+1 31	
11	133 10	344 08	+12 35	149 02	336 32	+1 31	
12	148 12	359 08	+12 34	149 04	351 86	+1 31	
13	163 15	14 08	+12 33	149 07	6 40	+1 31	
14	178 17	29 08	+12 32	149 09	21 43	+1 31	
15	193 20	44 08	+12 31	149 11	36 47	+1 31	
16	208 22	59 08	+12 30	149 14	51 51	+1 31	
17	223 24	74 09	+12 30	149 16	66 55	+1 32	
18	238 27	89 09	+12 29	149 18	81 59	+1 32	
19	253 29	104 09	+12 28	149 21	97 02	+1 32	
20	268 32	119 09	+12 27	149 23	112 06	+1 32	
21	283 34	134 09	+12 26	149 25	127 10	+1 32	
22	298 37	149 09	+12 26	149 28	142 14	+1 32	
23	313 39	164 09	+12 25	149 30	157 18	+1 32	
24	328 42	179 10	+12 24	149 32	172 21	+1 32	

## Лист авиационного астрономического ежегодника 1975 г., 20 августа, среда

T <sub>ГР</sub>	Марс		Юпитер		Сатурн	
	t <sub>ГР</sub>	δ	t <sub>ГР</sub>	δ	t <sub>ГР</sub>	δ
0 <sup>ч</sup>	266°22'	+19°35'	304°19'	+8°10'	208°42'	+20°47'
1	281 23	+19 35	319 22	+8 10	223 44	+20 47
2	296 24	+19 35	334 24	+8 10	238 46	+20 47
3	311 25	+19 36	349 27	+8 10	253 48	+20 47
4	326 26	+19 36	4 29	+8 10	268 50	+20 47
5	341 26	+19 36	19 32	+8 10	283 53	+20 47
6	356 27	+19 37	34 34	+8 10	298 55	+20 46
7	11 28	+19 37	49 37	+8 10	313 57	+20 46
8	26 29	+19 37	64 39	+8 10	328 59	+20 46
9	41 30	+19 37	79 42	+8 10	344 01	+20 46
10	56 31	+19 38	94 44	+8 10	359 03	+20 46
11	71 32	+19 38	109 47	+8 10	14 06	+20 46
12	86 33	+19 38	124 49	+8 10	29 08	+20 46
13	101 34	+19 39	139 52	+8 10	44 10	+20 46
14	116 35	+19 39	154 54	+8 10	59 12	+20 46
15	131 35	+19 39	169 57	+8 10	74 14	+20 46
16	146 36	+19 40	184 59	+8 10	89 16	+20 46
17	161 37	+19 40	200 02	+8 10	104 18	+20 46
18	176 38	+19 40	215 04	+8 10	119 21	+20 46
19	191 39	+19 41	230 07	+8 10	134 23	+20 46
20	206 40	+19 41	245 09	+8 10	149 25	+20 46
21	221 41	+19 41	260 12	+8 10	164 27	+20 46
22	236 42	+19 42	275 14	+8 10	179 29	+20 46
23	251 43	+19 42	290 17	+8 10	194 31	+20 46
24	266 44	+19 42	305 19	+8 10	209 34	+20 46

Приложение 6

## Страница таблиц высот и азимутов Солнца, Луны и планет (ТВА-II)

Склонение одноменно с широтой

δ = 13°

t <sub>М</sub>	Широта, град											
	46			48			50			52		
	h	f	A	h	f	A	h	f	A	h	f	A
0°	57°00'	10	180°	55°00'	10	180°	53°00'	10	180°	51°00'	10	180°
2	56 57	10	176	54 58	10	177	52 58	10	177	50 58	10	177
4	56 50	10	173	54 50	10	173	52 51	10	174	50 52	10	174
6	56 37	10	169	54 39	10	170	52 40	10	170	50 42	10	171
8	56 19	10	166	54 22	10	167	52 26	10	167	50 28	10	168
10	56 56	10	162	54 01	10	163	52 06	10	164	50 11	10	165
12	55 28	10	159	53 36	10	160	51 43	10	161	49 49	10	162
14	54 56	10	156	53 07	10	157	51 16	10	158	49 24	10	159
16	54 20	9	153	52 33	10	154	50 45	10	155	48 56	10	156
18	53 40	9	149	51 56	9	151	50 10	10	152	48 24	10	153
20	52 55	9	146	51 15	9	148	49 32	9	149	47 49	10	150

$t_M$	Широта, град											
	46			48			50			52		
	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>
22	52°08'	9	144°	50°30'	9	145°	48°51'	9	146°	47°11'	9	148°
24	51 17	9	141	49 43	9	142	48 07	9	144	46 30	9	145
26	50 22	9	138	48 52	9	140	47 20	9	141	45 46	9	142
28	49 25	9	135	47 58	9	137	46 30	9	138	44 59	9	140
30	48 25	9	133	47 02	9	134	45 37	9	136	44 10	9	137
32	47 23	8	131	46 04	9	132	44 42	9	133	43 19	9	135
34	46 18	8	128	45 03	8	130	43 45	9	131	42 25	9	132
36	45 11	8	126	44 00	8	127	42 46	9	129	41 30	9	130
38	44 03	8	123	42 55	8	125	41 45	8	126	40 32	9	128
40	42 52	8	121	41 49	8	123	40 42	8	124	39 33	9	126
42	41 40	8	119	40 40	8	121	39 38	8	122	38 32	9	124
44	40 27	8	117	39 30	8	119	38 32	8	120	37 30	8	121
46	39 12	8	115	38 19	8	117	37 24	8	118	36 26	8	119
48	37 56	8	113	37 07	8	115	36 15	8	116	35 21	8	117
50	36 39	7	112	35 53	8	113	35 06	8	114	34 15	8	115
52	35 21	7	110	34 39	8	111	33 55	8	112	33 08	8	114
54	34 02	7	108	33 24	8	109	32 43	8	110	32 00	8	112
56	32 42	7	106	32 08	8	107	31 30	8	109	30 51	8	110
58	31 22	7	105	30 51	8	106	30 17	8	107	29 41	8	108
60	30 01	7	103	29 33	7	104	29 03	8	105	28 30	8	106
62	28 40	7	101	28 15	7	102	27 48	8	103	27 19	8	104
64	27 18	7	100	26 56	7	101	26 33	8	102	26 07	8	103
66	25 55	7	98	25 37	7	99	25 17	8	100	24 55	8	101
68	24 32	7	97	24 18	7	98	24 01	8	98	23 42	8	99
70	23 10	7	95	22 58	7	96	22 44	8	97	22 29	8	98
72	21 46	7	94	21 38	7	95	21 28	8	95	21 16	8	96
74	20 23	7	92	20 18	7	93	20 11	8	94	20 02	8	94
76	19 00	7	91	18 58	7	92	18 54	8	92	18 48	8	93
78	17 37	7	89	17 37	7	90	17 37	8	91	17 35	8	91
80	16 13	7	88	16 17	7	89	16 20	8	89	16 21	8	90
82	14 50	7	87	14 57	7	87	15 02	8	88	15 07	8	88
84	13 27	7	85	13 37	7	86	13 45	8	86	13 53	8	87
86	12 04	7	84	12 17	7	84	12 29	8	85	12 39	8	85
88	10 41	7	82	10 57	7	83	11 12	8	83	11 26	8	83
90	9 19	7	81	9 37	7	81	9 55	8	82	10 13	8	82

Склонение одноменно с широтой

 $\delta = 13^\circ$ 

$t_M$	Широта, град											
	46			48			50			52		
	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>A</i>
90°	9°19'	7	81°	9°37'	7	81°	9°55'	8	82°	10°13'	8	82°
92	7 57	7	79	8 18	7	80	8 39	8	80	9 00	8	80
94	6 35	7	78	6 59	7	78	7 23	8	79	7 47	8	79
96	5 14	7	77	5 41	7	77	6 08	8	77	6 35	8	77
98	3 53	7	75	4 23	7	75	4 53	8	76	5 23	8	76
100	2 32	7	74	3 06	8	74	3 39	8	74	4 11	8	74

Склонение одноименно с широтой

t <sub>M</sub>	Широта, град												t <sub>M</sub>
	46			48			50			52			
	h	f	A	h	f	A	h	f	A	h	f	A	
102°	1°12'	7	72°	1°49'	8	72°	2°25'	8	73°	3°01'	8	73°	
104	0 07	7	109	0 32	8	71	1 12	8	71	1 50	8	71	76°
106	1 25	7	110	0 43	8	110	0 01	8	110	0 41	8	70	74
	2 43	8	112	1 58	8	112	1 13	8	112	0 28	8	112	72
	4 00	8	113	3 12	8	114	2 24	8	114	1 36	8	114	70
	5 16	8	115	4 25	8	115	3 34	8	115	2 43	8	115	68
	6 31	8	116	5 38	8	117	4 44	8	117	3 50	8	117	66
	7 45	8	118	6 49	8	118	5 52	8	118	4 55	8	118	64
	8 58	8	119	7 59	8	120	7 00	8	120	5 59	8	120	62
	10 10	8	121	9 08	8	121	8 06	8	122	7 03	8	122	60
	11 21	8	123	10 16	8	123	9 11	8	123	8 05	8	123	58
	12 31	8	124	11 23	8	125	10 15	8	125	9 06	9	125	56
	13 39	8	126	11 29	8	126	11 18	8	126	10 06	9	127	54
	14 46	8	127	13 33	8	128	12 19	9	128	11 04	9	129	52
	15 52	8	129	14 35	8	130	13 19	9	130	12 02	9	130	50
	16 55	8	131	15 37	9	131	14 17	9	132	12 57	9	132	48
	17 58	9	133	16 36	9	133	15 14	9	133	13 51	9	134	46
	18 58	9	134	17 34	9	135	16 09	9	135	14 44	9	136	44
	19 57	9	136	18 30	9	137	17 03	9	137	15 35	9	137	42
	20 54	9	138	19 24	9	138	17 54	9	139	16 24	9	139	40
	21 49	9	140	20 17	9	140	18 44	9	141	17 11	9	141	38
	22 41	9	142	21 07	9	142	19 32	9	143	17 56	9	143	36
	23 32	9	144	21 55	9	144	20 18	9	144	18 40	9	145	34
	24 21	9	145	22 42	9	146	21 02	9	146	19 21	9	147	32
	25 07	9	147	23 25	9	148	21 43	9	148	20 01	9	149	30
	25 50	9	149	24 07	9	150	22 22	9	150	20 38	10	151	28
	26 31	9	151	24 46	9	152	23 00	10	152	21 13	10	153	26
	27 10	9	154	25 22	10	154	23 34	10	154	21 46	10	155	24
	27 46	10	156	25 56	10	156	24 06	10	156	22 16	10	157	22
	28 18	10	158	26 27	10	158	24 36	10	158	22 44	10	159	20
	28 49	10	160	26 56	10	160	25 03	10	161	23 10	10	161	18
	29 16	10	162	27 22	10	162	25 27	10	163	23 32	10	163	16
	29 40	10	164	27 44	10	165	25 49	10	165	23 53	10	165	14
	30 01	10	166	28 04	10	167	26 07	10	167	24 10	10	167	12
	30 19	10	169	28 21	10	169	26 23	10	169	24 26	10	169	10
	30 34	10	171	28 35	10	171	26 36	10	171	24 38	10	171	8
	30 45	10	173	28 46	10	173	26 47	10	173	24 48	10	174	6
	30 53	10	175	28 54	10	176	26 54	10	176	24 54	10	176	4
	30 58	10	178	28 58	10	178	26 59	10	178	24 59	10	178	2
	31 00	10	180	29 00	10	180	27 00	10	180	25 00	10	180	0
	h	f	A	h	f	A	h	f	A	h	f	A	t <sub>M</sub>
	46			48			50			52			

Широта, град

Склонение разноименно с широтой

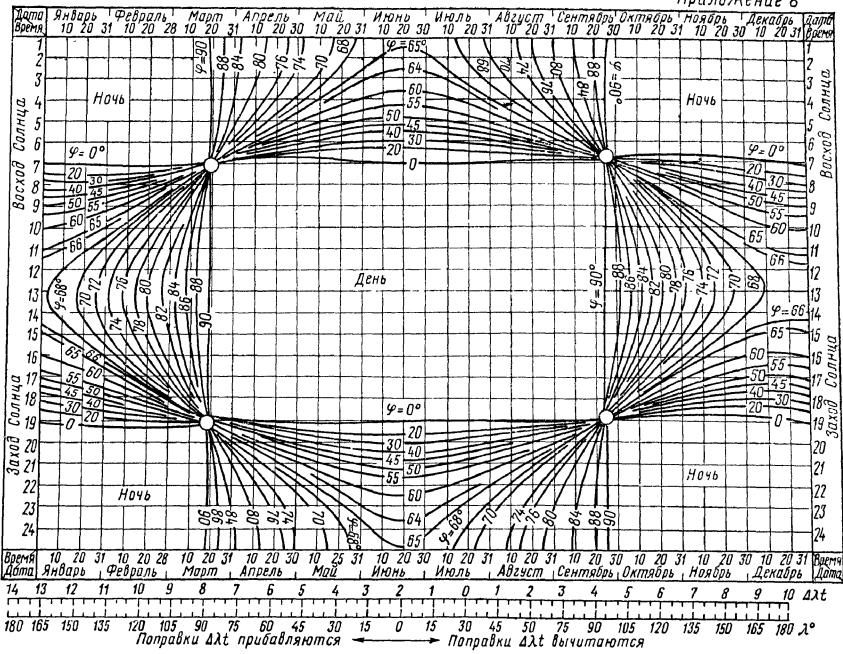
## Страница таблиц высот и азимутов звезд (ТВАЗ С-II)

 $S_M$  от 315 до 360° $\varphi = 48^\circ$ 

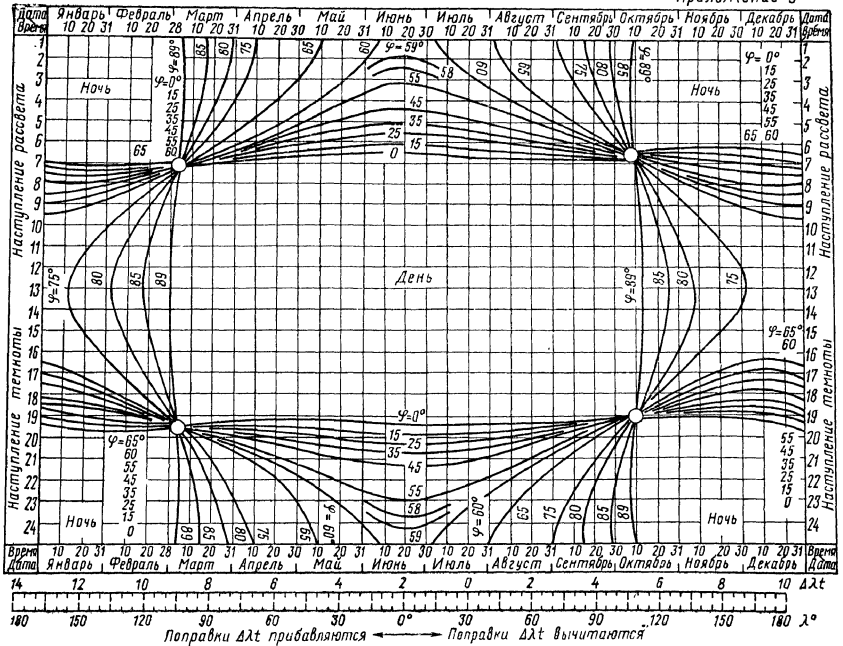
$S_M$	Поправка к высоте Полярной	Вега		Капелла		Альтаир		Альферац	
		$h$	$A$	$h$	$A$	$h$	$A$	$h$	$A$
315°	—12'	62°33'	264°	16°03'	37°	48°03'	207°	49°33'	101°
316	—13	61 53	265	16 28	38	47 45	208	50 12	102
317	—14	61 13	266	16 52	38	47 26	209	50 51	103
318	—15	60 33	266	17 17	39	47 05	211	51 30	104
319	—15	59 52	267	17 43	39	46 44	212	52 09	105
320	—16	59 12	268	18 08	40	46 23	213	52 48	106
321	—17	58 32	269	18 34	40	46 00	215	53 27	107
322	—18	57 52	269	19 00	41	45 37	216	54 05	108
323	—19	57 12	270	19 27	42	45 13	217	54 43	109
324	—20	56 32	271	19 54	42	44 48	219	55 21	110
325	—21	55 52	272	20 21	43	44 23	220	55 59	111
326	—21	55 12	272	20 48	43	43 57	221	56 36	112
327	—22	54 32	273	21 16	44	43 30	222	57 13	113
328	—23	53 51	274	21 44	44	43 02	224	57 50	114
329	—24	53 11	274	22 12	45	42 35	225	58 27	115
330	—25	52 31	275	22 41	46	42 06	226	59 03	116
331	—25	51 51	276	23 09	46	41 37	227	59 39	118
332	—26	51 11	276	23 39	47	41 07	228	60 14	119
333	—27	50 32	277	24 08	47	40 37	229	60 49	120
334	—28	49 52	278	24 37	48	40 06	230	61 23	122
335	—29	49 12	278	25 07	48	39 35	232	61 57	123
336	—29	48 32	279	25 37	49	39 03	233	62 31	125
337	—30	47 53	280	26 08	49	38 31	234	63 03	126
338	—31	47 13	280	26 38	50	37 59	235	63 35	128
339	—31	46 34	281	27 09	50	37 26	236	64 07	129
340	—32	45 54	281	27 40	51	36 52	237	64 38	131
341	—33	45 15	282	28 11	51	36 18	238	65 08	133
342	—34	44 36	283	28 43	52	35 44	239	65 37	134
343	—34	43 57	283	29 14	52	35 10	240	66 05	136
344	—35	43 18	284	29 46	53	34 35	241	66 32	138
345	—36	42 39	284	30 19	53	34 00	242	66 59	140
346	—36	42 00	285	30 51	54	33 24	243	67 24	142
347	—37	41 21	286	31 23	54	32 48	244	67 48	144
348	—38	40 42	286	31 56	55	32 12	245	68 11	146
349	—38	40 04	287	32 29	55	31 36	245	68 33	148
350	—39	39 26	287	33 03	56	30 59	246	68 54	150
351	—39	38 47	288	33 36	56	30 22	247	69 13	153
352	—40	38 09	288	34 09	57	29 45	248	69 31	155
353	—41	37 31	289	34 43	57	29 08	249	69 47	157
354	—41	36 53	290	35 17	58	28 30	250	70 01	160
355	—42	36 16	290	35 51	58	27 52	251	70 14	162
356	—42	35 38	291	36 26	59	27 14	252	70 26	165
357	—43	35 00	291	37 00	59	26 36	253	70 35	167
358	—43	34 23	292	37 35	60	25 58	253	70 43	170
359	—44	33 46	293	38 09	60	25 19	254	70 49	173
360	—44	33 09	293	38 44	61	24 40	255	70 53	175



Приложение 8



Приложение 9



Интерполяционные таблицы Солнца, планет и звезд

Время, мин	$\Delta t_{гр}, \Delta \lambda$	$\Delta S_{гр}$	Время, мин	$\Delta t_{гр}, \Delta \lambda$	$\Delta S_{гр}$	Время, мин	$\Delta t_{гр}, \Delta \lambda$	$\Delta S_{гр}$	Время, мин	$\Delta t_{гр}, \Delta \lambda$	$\Delta S_{гр}$
0	0°00'	0°00'	16	4°00'	4°01'	31	7°45'	7°46'	46	11°30'	11°32'
1	0 15	0 15	17	4 15	4 16	32	8 00	8 01	47	11 45	11 47
2	0 30	0 30	18	4 30	4 31	33	8 15	8 16	48	12 00	12 02
3	0 45	0 45	19	4 45	4 46	34	8 30	8 31	49	12 15	12 17
4	1 00	1 00	20	5 00	5 01	35	8 45	8 46	50	12 30	12 32
5	1 15	1 15	21	5 15	5 16	36	9 00	9 01	51	12 45	12 47
6	1 30	1 30	22	5 30	5 31	37	9 15	9 17	52	13 00	13 02
7	1 45	1 45	23	5 45	5 46	38	9 30	9 32	53	13 15	13 17
8	2 00	2 00	24	6 00	6 01	39	9 45	9 47	54	13 30	13 32
9	2 15	2 15	25	6 15	6 16	40	10 00	10 02	55	13 45	13 47
10	2 30	2 30	26	6 30	6 31	41	10 15	10 17	56	14 00	14 02
11	2 45	2 45	27	6 45	6 46	42	10 30	10 32	57	14 15	14 17
12	3 00	3 00	28	7 00	7 01	43	10 45	10 47	58	14 30	14 32
13	3 15	3 16	29	7 15	7 16	44	11 00	11 02	59	14 45	14 47
14	3 30	3 31	30	7 30	7 31	45	11 15	11 17	60	15 00	15 02
15	3 45	3 46									

Время, с	$\Delta t_{гр}, \Delta S_{гр}, \Delta \lambda$	Время, с	$\Delta t_{гр}, \Delta S_{гр}, \Delta \lambda$	Время, с	$\Delta t_{гр}, \Delta S_{гр}, \Delta \lambda$
0	0'	20	5'	40	10'
4	1	24	6	44	11
8	2	28	7	48	12
12	3	32	8	52	13
16	4	36	9	56	14
				60	15

Поправки к табличным высотам Солнца, Луны и планет за минуты склонения

$\Delta \delta \backslash f$	10	9	8	7	6	5	4	3
0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'
1	1	1	1	1	1	0	0	0
2	2	2	2	1	1	1	1	1
3	3	3	2	2	2	2	1	1
4	4	4	3	3	2	2	2	1
5	5	4	4	4	3	2	2	1
6	6	5	5	4	4	3	2	2
7	7	6	6	5	4	4	3	2
8	8	7	6	6	5	4	3	2
9	9	8	7	6	5	4	4	3
10	10	9	8	7	6	5	4	3
11	11	10	9	8	7	6	4	3
12	12	11	10	8	7	6	5	4
13	13	12	10	9	8	6	5	4
14	14	13	11	10	8	7	6	4

$\Delta\delta$ \ / \ $f$	10	9	8	7	6	5	4	3
15'	15'	14'	12'	10'	9'	8'	6'	4'
16	16	14	13	11	10	8	6	5
17	17	15	14	12	10	8	7	5
18	18	16	14	13	11	9	7	6
19	19	17	15	13	11	10	8	6
20	20	18	16	14	12	10	8	6
21	21	19	17	15	13	10	8	6
22	22	20	18	15	13	11	9	7
23	23	21	18	16	14	12	9	7
24	24	22	19	17	14	12	10	7
25	25	22	20	18	15	12	10	7
26	26	23	21	18	16	13	10	8
27	27	24	22	19	16	14	11	8
28	28	25	22	20	17	14	11	8
29	29	26	23	20	17	14	12	9
30	30	27	24	21	18	15	12	9

Приложение 12

Интерполяционные таблицы для Луны

Время, с	40 мин		41 мин		42 мин		43 мин		Время, с
	$\Delta t_{ГР1}$	$\bar{\Delta} \Delta t_{ГР2}$	$\Delta t_{ГР1}$	$\bar{\Delta} \Delta t_{ГР2}$	$\Delta t_{ГР1}$	$\bar{\Delta} \Delta t_{ГР2}$	$\Delta t_{ГР1}$	$\bar{\Delta} \Delta t_{ГР2}$	
00	9°33'	0' 0'	9°47'	0' 0'	10°01'	0' 0'	10°16'	0' 0'	00
04	9 34	1 1	9 48	1 1	10 02	1 1	10 17	1 1	04
08	9 35	2 1	9 49	2 1	10 03	2 1	10 18	2 1	08
12	9 36	3 2	9 50	3 2	10 04	3 2	10 19	3 2	12
16	9 37	4 3	9 51	4 3	10 05	4 3	10 19	4 3	16
20	9 37	5 3	9 52	5 3	10 06	5 4	10 20	5 4	20
24	9 38	6 4	9 53	6 4	10 07	6 4	10 21	6 4	24
28	9 39	7 5	9 54	7 5	10 08	7 5	10 22	7 5	28
32	9 40	8 5	9 55	8 6	10 09	8 6	10 23	8 6	32
36	9 41	9 6	9 56	9 6	10 10	9 6	10 24	9 7	36
40	9 42	10 7	9 57	10 7	10 11	10 7	10 25	10 7	40
44	9 43	11 7	9 58	11 8	10 12	11 8	10 26	11 8	44
48	9 44	12 8	9 58	12 8	10 13	12 9	10 27	12 9	48
52	9 45	13 9	9 59	13 9	10 14	13 9	10 28	13 9	52
56	9 46	14 9	10 00	14 10	10 15	14 10	10 29	14 10	56
60	9 47	15 10	10 01	15 10	10 16	15 11	10 30	15 11	60
		16 11		16 11		16 11		16 12	
		17 11		17 12		17 12		17 12	
		18 12		18 12		18 13		18 13	

Гринвичские часовые углы среднего Солнца

$T_{\text{мск}}$ , ч мин	$t_{\text{гр. ср.}}$ , град	$T_{\text{мск}}$ , ч мин	$t_{\text{гр. ср.}}$ , град	$T_{\text{мск}}$ , ч мин	$t_{\text{гр. ср.}}$ , град	$T_{\text{мск}}$ , ч мин	$t_{\text{гр. ср.}}$ , град
0 00	135	6 00	225	12 00	315	18 00	45
12	138	12	228	12	318	12	48
24	141	24	231	24	321	24	51
36	144	36	234	36	324	36	54
48	147	48	237	48	327	48	57
1 00	150	7 00	240	13 00	330	19 00	60
12	153	12	243	12	333	12	63
24	156	24	246	24	336	24	66
36	159	36	249	36	339	36	69
48	162	48	252	48	342	48	72
2 00	165	8 00	255	14 00	345	20 00	75
12	168	12	258	12	348	12	78
24	171	24	261	24	351	24	81
36	174	36	264	36	354	36	84
48	177	48	267	48	357	48	87
3 00	180	9 00	270	15 00	360	21 00	90
12	183	12	273	12	03	12	93
24	186	24	276	24	06	24	96
36	189	36	279	36	09	36	99
48	192	48	282	48	12	48	102
4 00	195	10 00	285	16 00	15	22 00	105
12	198	12	288	12	18	12	108
24	201	24	291	24	21	24	111
36	204	36	294	36	24	36	114
48	207	48	297	48	27	48	117
5 00	210	11 00	300	17 00	30	23 00	120
12	213	12	303	12	33	12	123
24	216	24	306	24	36	24	126
36	219	36	309	36	39	36	129
48	222	48	312	48	42	48	132

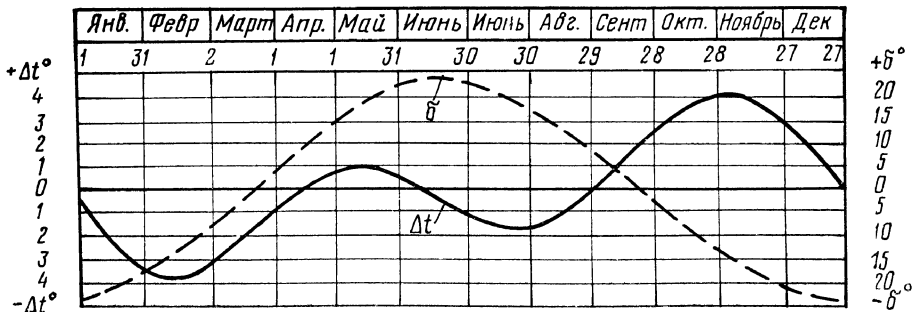


График склонения Солнца и поправок к гринвичским часовым углам на дату полета

Таблица звездного гринвичского времени  
на 0 часов первого дня каждого месяца

Месяц	Год					
	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Январь	100°01'	99°47'	100°32'	100°17'	100°03'	99°49'
Февраль	130 35	130 20	131 05	130 51	130 36	130 22
Март	158 10	158 55	158 41	158 27	158 12	158 57
Апрель	188 44	189 29	189 14	189 00	188 46	189 30
Май	218 18	219 03	218 48	218 34	218 20	219 05
Июнь	248 51	249 36	249 22	249 07	248 53	249 38
Июль	278 25	279 10	278 56	278 42	278 27	279 12
Август	308 59	309 44	309 29	309 15	309 01	309 45
Сентябрь	339 32	340 17	340 03	339 48	339 34	340 19
Октябрь	9 06	9 51	9 37	9 22	9 08	9 53
Ноябрь	39 39	40 24	40 10	39 56	39 41	40 26
Декабрь	69 14	69 58	69 44	69 30	69 15	70 00

Таблица приращения звездного времени

На 0 ч каждого дня месяца		На каждый час дня		На каждую минуту часа				На секунды	
1	0°00'	0	0°00'	0	0°00'	31	7°46'	0	0'00'
2	0 59	1	15 02	1	0 15	32	8 01		
3	1 58	2	30 05	2	0 30	33	8 16	4	1
4	2 57	3	45 07	3	0 45	34	8 31		
5	3 57	4	60 10	4	1 00	35	8 46	8	2
6	4 56	5	75 12	5	1 15	36	9 01		
7	5 55	6	90 15	6	1 30	37	9 17	12	3
8	6 54	7	105 17	7	1 45	38	9 32		
9	7 53	8	120 20	8	2 00	39	9 47	16	4
10	8 52	9	135 22	9	2 15	40	10 02		
11	9 51	10	150 25	10	2 30	41	10 17	20	5
12	10 51	11	165 27	11	2 45	42	10 32		
13	11 50	12	180 30	12	3 00	43	10 47	24	6
14	12 49	13	195 32	13	3 16	44	11 02		
15	13 48	14	210 34	14	3 31	45	11 17	28	7
16	14 47	15	225 37	15	3 46	46	11 32		
17	15 46	16	240 39	16	4 01	47	11 47	32	8
18	16 45	17	255 42	17	4 16	48	12 02		
19	17 44	18	270 44	18	4 31	49	12 17	36	9
20	18 44	19	285 47	19	4 46	50	12 32		
21	19 43	20	300 49	20	5 01	51	12 47	40	10
22	20 42	21	315 52	21	5 16	52	13 02		
23	21 41	22	330 54	22	5 31	53	13 17	44	11
24	22 40	23	345 57	23	5 46	54	13 32		
25	23 39			24	6 01	55	13 47	48	12
26	24 38			25	6 16	56	14 02		
27	25 38			26	6 31	57	14 17	52	13
28	26 37			27	6 46	58	14 32		
29	27 36			28	7 01	59	14 47	56	14
30	28 35			29	7 16				
31	29 34			30	7 31	60	15 02	60	15

**Поправки за рефракцию**  
(вычитать из измеренной высоты)

Высота светила, град	Высота полета, км													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	
90	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	
60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
30	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
28	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
26	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
24	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
22	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	
20	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	
19	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	
18	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	
17	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	
16	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	
15	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	0	
14	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	
13	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0	
12	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	0	
11	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	0	
10	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	0	
9	6	5	5	4	4	3	3	3	3	2	2	1	0	
8	6	6	5	5	4	4	3	3	3	2	2	1	0	
7	7	7	6	5	5	4	4	4	3	3	2	1	1	
6	8	8	7	6	6	5	4	4	4	3	3	1	1	
5	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4	3	2	1	
4	12	11	10	9	8	7	6	6	5	4	4	2	1	
3	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	5	2	1	
2	18	16	15	13	12	11	10	9	8	7	6	3	1	

Приложение 17

**Поправки за вращение Земли в километрах**  
для пузырьковых и маятниковых секстантов

W, км/ч	Широта места, град						
	30	35	40	45	50	55	60
200	3	3	3	4	4	4	5
300	4	5	5	6	6	6	7
400	6	6	7	7	8	9	9
500	7	8	8	9	10	11	11
600	8	9	10	11	12	13	14
700	9	11	12	13	14	15	16
800	10	12	14	15	16	17	18
900	12	13	15	16	18	19	20
1000	13	15	17	18	20	21	23

W, км/ч	Широта места, град						
	30	35	40	45	50	55	60
1 100	14	16	19	20	22	24	25
1 200	16	18	20	22	24	26	27
1 300	17	20	22	24	26	28	29
1 400	18	21	24	26	28	30	32
1 500	20	23	25	28	30	32	34
1 600	21	24	27	30	32	34	36
1 700	22	26	29	31	34	36	39
1 800	24	27	31	33	36	39	41
1 900	25	29	32	35	38	41	43
2 000	26	30	34	37	40	43	45

**Поправки к измеренной высоте первого светила  
за перемещение самолета (поправки E)**

Высота первого светила измерена за 3 мин до измерения высоты второго светила

+	W, км/ч	Путевой пеленг первого светила, град										+
		0 360	10 350	20 340	30 330	40 320	50 310	60 300	70 290	80 280	90 270	
	200	5'	5'	5'	5'	4'	3'	3'	2'	1'	0'	
	300	8	8	8	7	6	5	4	3	1	0	
	400	11	11	10	9	8	7	5	4	2	0	
	500	14	13	13	12	10	9	7	5	2	0	
	600	16	16	15	14	12	10	8	6	3	0	
	700	19	19	18	16	14	12	9	6	3	0	
	800	22	21	20	19	17	14	11	7	4	0	
	900	24	24	23	21	19	16	12	8	4	0	
	1 000	27	27	25	23	21	17	14	9	5	0	
	1 100	30	29	28	26	23	19	15	10	5	0	
	1 200	32	32	30	28	25	21	16	11	6	0	
	1 300	35	35	33	30	27	23	18	12	6	0	
	1 400	38	37	36	33	29	24	19	13	7	0	
	1 500	40	40	38	35	31	26	20	14	7	0	
	1 600	43	43	41	37	33	28	22	15	8	0	
	1 700	46	45	43	40	35	30	23	16	8	0	
	1 800	49	48	46	42	37	31	24	17	8	0	
	1 900	51	51	48	44	39	33	26	18	9	0	
	2 000	54	53	51	47	41	35	27	18	9	0	
—	W, км/ч	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	—
		180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	
Путевой пеленг первого светила, град												

**Поправки к высоте Полярной за перемещение самолета (поправки D)**

Высота Полярной измерена через 3 мин после измерения первой звезды

+	W, км/ч	ИПУ, град										-
		180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	
		180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	
200	5'	5'	5'	5'	4'	3'	3'	2'	1'	0'		
300	8	8	8	7	6	5	4	3	1	0		
400	11	11	10	9	8	7	5	4	2	0		
500	14	13	13	12	10	9	7	5	2	0		
600	16	16	15	14	12	10	8	6	3	0		
700	19	19	18	16	14	12	9	6	3	0		
800	22	21	20	19	17	14	11	7	4	0		
900	24	24	23	21	19	16	12	8	4	0		
1 000	27	27	25	23	21	17	14	9	5	0		
1 100	30	29	28	26	23	19	15	10	5	0		
1 200	32	32	30	28	25	21	16	11	6	0		
1 300	35	35	33	30	27	23	18	12	6	0		
1 400	38	37	36	33	29	24	19	13	7	0		
1 500	40	40	38	35	31	26	20	14	7	0		
1 600	43	43	41	37	33	28	22	15	8	0		
1 700	46	45	43	40	35	30	23	16	8	0		
1 800	49	48	46	42	37	31	24	17	8	0		
1 900	51	51	48	44	39	33	26	17	9	0		
2 000	54	53	51	47	41	35	27	18	9	0		
-	W, км/ч	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	+
		360	350	340	330	320	310	300	290	280	270	
ИПУ, град												

**Перевод минут дуги большого круга в километры**  
(1' = 1,852 км)

	0'	10'	20'	30'	40'	50'	1°00'	1°10'	1°20'	1°30'	1°40'	1°50'	2°00'
0'	0	19	37	56	74	93	111	130	148	167	185	204	222
1'	2	20	39	57	76	94	113	131	150	169	187	206	224
2'	4	22	41	59	78	96	115	133	152	170	189	207	226
3'	6	24	43	61	80	98	117	135	154	172	191	209	228
4'	7	26	44	63	81	100	119	137	156	174	193	211	230
5'	9	28	46	65	83	102	120	139	157	176	194	213	232
6'	11	30	48	67	85	104	122	141	159	178	196	215	233
7'	13	31	50	69	87	106	124	143	161	180	198	217	235
8'	15	33	52	70	89	107	126	144	163	181	200	219	237
9'	17	35	54	72	91	109	128	146	165	183	202	220	239



**Поправки за прецессию и нутацию**  
(для северных широт)

$S_M$ , град	Широта, град							
	30		40		50		60	
	A, град	$I$ , км	A, град	$I$ , км	A, град	$I$ , км	A, град	$I$ , км
	1975 г.							
0	60	5	60	5	60	4	50	4
30	70	6	70	5	70	5	60	4
60	80	6	80	6	80	5	80	5
90	90	6	90	6	90	5	90	5
120	100	6	100	6	100	5	110	5
150	110	6	110	5	120	5	120	4
180	120	5	120	5	130	4	130	4
210	120	5	120	4	130	3	140	3
240	110	4	110	3	120	2	140	1
270	90	4	90	3	90	2	80	1
300	70	4	70	3	60	2	40	2
330	60	5	60	4	50	3	40	3
360	60	5	60	5	60	4	50	4
	1979 г.							
0	60	10	60	9	60	8	50	7
30	70	11	70	10	70	9	60	8
60	80	11	80	11	80	10	80	9
90	90	11	90	11	90	10	90	9
120	100	11	100	11	100	10	110	9
150	110	11	110	10	120	9	120	8
180	120	10	120	9	120	8	130	7
210	120	9	120	8	130	6	140	5
240	110	7	110	6	120	4	140	3
270	90	7	90	5	90	3	80	1
300	70	8	70	6	60	5	40	3
330	60	9	60	8	50	7	40	5
360	60	10	60	9	60	8	50	7
	1980 г.							
0	60	12	60	11	60	9	50	8
30	70	12	70	12	70	11	60	9
60	80	13	80	12	80	11	80	10
90	90	13	90	12	90	12	90	10
120	100	13	100	12	100	11	110	10
150	110	12	110	11	110	10	120	9
180	120	11	120	10	120	9	130	8
210	120	10	120	8	130	7	140	6
240	110	8	110	7	120	5	140	3
270	90	8	90	6	90	4	80	2
300	70	9	70	7	60	5	40	4
330	60	10	60	9	50	7	40	6
360	60	12	60	11	60	9	50	8

**Поправки ( $\Delta h$ , км и  $\Delta A$ , град) для уточнения прокладки АЛП  
в полярных районах**

I, км	Высота светила, град											
	15		20		25		30		40		50	
	$\Delta h$	$\Delta A$	$\Delta h$	$\Delta A$	$\Delta h$	$\Delta A$	$\Delta h$	$\Delta A$	$\Delta h$	$\Delta A$	$\Delta h$	$\Delta A$
100	0,7	0,6	0,9	0,6	1,3	0,8	1,5	1,0	2,2	1,4	3	2,0
200	3,0	0,9	4	1,2	5	1,6	6	1,9	8	2,8	13	4,0
300	6,5	1,3	9	1,8	11	2,3	14	2,9	20	4,2	29	6,0
400	12	1,8	16	2,4	20	3,1	25	3,8	35	5,6	51	7,9
500	18	2,2	25	3,0	31	3,9	39	4,8	56	7,0	80	9,8
600	26	2,7	35	3,6	45	4,6	56	5,7	80	8,3	116	11,7
700	35	3,4	48	4,6	61	5,8	76	7,2	108	10,4	157	14,6
800	46	3,6	62	4,8	81	6,2	99	7,6	142	11,0	205	15,4
900	58	4,0	79	5,4	101	6,9	125	8,5	179	12,2	258	17,2

**Основные элементы орбит планет солнечной системы**

Планета	Среднее расстояние от Солнца, млн. км	Период обращения вокруг Солнца	Наклон орбиты к эклипике	Средняя угловая скорость движения по орбите (в средние сутки)	Средняя скорость орбитального движения, км/с
Меркурий	57,91	88 суток	7°00'	4°05'32"	47,9
Венера	108,21	225 »	3 24	1 36 08	35,0
Земля	149,6	1 год	—	59 08	29,8
Марс	227,94	1,9 года	1 51	31 26	24,1
Юпитер	778,34	11,9 »	1 18	4 59	13,1
Сатурн	1427,0	29,5 »	2 29	2 00	9,6
Уран	2871,0	84,0 »	0 46	42	6,8
Нептун	4498,6	164,8 »	1 46	22	5,4
Плутон	5912,0	247,7 »	17 08	14	4,7

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
-----------------------	---

## Глава I

### Системы небесных координат

1. Небесная сфера, ее основные точки, линии и круги . . . . .	7
2. Системы небесных координат . . . . .	9
3. Зависимость между высотой полюса мира и географической широтой . . . . .	13
4. Графическое преобразование небесных координат . . . . .	14
5. Параллактический треугольник и его решение . . . . .	15
6. Видимое движение светил . . . . .	16
7. Собственные движения звезд . . . . .	25
8. Видимое суточное движение светил . . . . .	26
9. Условия восхода и захода светил . . . . .	28
10. Кульминация светил . . . . .	29

## Глава II

### Звездное небо и характеристика навигационных светил

1. Навигационные светила . . . . .	33
2. Звездная величина светила . . . . .	36
3. Правила отыскания навигационных звезд и планет . . . . .	38

## Глава III

### Измерение времени

1. Основы измерения времени . . . . .	46
2. Звездное время . . . . .	48
3. Истинное солнечное время . . . . .	50
4. Среднее солнечное время . . . . .	52
5. Уравнение времени . . . . .	53
6. Системы счисления времени . . . . .	54
7. Местное время . . . . .	54
8. Гринвичское время . . . . .	56
9. Поясное время . . . . .	57
10. Карта часовых поясов . . . . .	58
11. Декретное время . . . . .	59
12. Московское время . . . . .	60
13. Зависимость между временами . . . . .	61
14. Линия смены дат . . . . .	62

## Глава IV

### Расчет условий естественного освещения и координат навигационных светил

1. Условия естественного освещения . . . . .	63
2. Определение моментов естественного освещения . . . . .	65
3. Авиационный астрономический ежегодник и пользование им при определении экваториальных координат навигационных светил . . . . .	69
4. Упрощенный способ определения экваториальных координат Солнца . . . . .	74

5. Упрощенный способ определения звездного времени . . . . .	76
6. Расчет азимута Солнца . . . . .	76

## Глава V

### Применение астрономических компасов

1. Принцип определения курса самолета с помощью астрономических компасов . . . . .	78
2. Дистанционный астрономический компас ДАК-ДБ-5 . . . . .	79
3. Комплект и назначение основных частей астрокомпаса ДАК-ДБ-5 . . . . .	80
4. Проверка астрокомпаса ДАК-ДБ-5 перед полетом . . . . .	85
5. Использование астрокомпаса ДАК-ДБ-5 . . . . .	86
6. Астрономический компас АК-53П . . . . .	91
7. Использование астрокомпаса АК-53П . . . . .	93
8. Особенности применения астрокомпасов в Южном полушарии . . . . .	97

## Глава VI

### Применение секстантов

1. Секстант ИМС-3 . . . . .	99
2. Устройство секстанта ИМС-3 . . . . .	100
3. Предполетная проверка и подготовка секстанта ИМС-3 к работе . . . . .	103
4. Измерение высот светил секстантом ИМС-3 . . . . .	105
5. Секстант ИАС-1М . . . . .	108
6. Секстант СП-1М . . . . .	110
7. Устройство секстанта СП-1М . . . . .	110
8. Предполетная подготовка секстанта СП-1М . . . . .	113
9. Измерения секстантом СП-1М . . . . .	114
10. Авиационный перископический секстант . . . . .	116

## Глава VII

### Определение астрономических линий положения и места самолета по небесным светилам

1. Географическое место светила . . . . .	118
2. Круг равных высот светила . . . . .	119
3. Графический способ прокладки АЛП на карте . . . . .	120
4. Расчетные таблицы горизонтальных координат небесных светил и пользование ими . . . . .	123
5. Поправки к измеренной высоте светила . . . . .	127
6. Расчет астрономических линий положения и прокладка их на карте . . . . .	135
7. Расчет и прокладка АЛП в полярных районах и Южном полушарии Земли . . . . .	144
8. Определение места самолета по небесным светилам . . . . .	146
9. Точность определения места самолета по небесным светилам . . . . .	154
10. Звездно-солнечный ориентатор БЦ-63А . . . . .	155
11. Применение искусственных спутников Земли для самолетовождения . . . . .	157

## Глава VIII

### Подготовка к полету с использованием астрономических средств

1. Особенности подготовки к полету с использованием астрономических средств . . . . .	162
2. Определение поправки часов . . . . .	163
3. Определение поправки секстанта . . . . .	166
4. Подготовка бортовой карты и расчетных пособий . . . . .	170
5. Выбор небесных светил и определение условий естественного освещения . . . . .	171
6. Выполнение астрономических предвычислений . . . . .	174
7. Предполетная подготовка астрономических приборов . . . . .	178

## Глава IX

### Задачи для самостоятельного решения

1. Задачи . . . . .	179
2. Ответы на задачи . . . . .	184
Приложения . . . . .	187

