



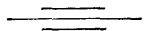
*И.Я. Кондратьев*

# АСТРОНОМИЯ В АВИАЦИИ

ВОСНОВАННОЕ ИЗДАНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Н. Я. КОНДРАТЬЕВ

# АСТРОНОМИЯ В АВИАЦИИ



ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ВОЕННОГО МИНИСТЕРСТВА СОЮЗА ССР  
*Москва—1952*

---

---

В настоящей книге в популярной форме излагаются основы теории и практики применения астрономических средств в полете. Книга предназначена для курсантов авиационных училищ, летного состава строевых частей ВВС Советской Армии и ДОСААФ, а также для широкого круга читателей, интересующихся вопросами авиационной астрономии.

---

---

Редактор майор *Черный Г. С.*  
Технический редактор *Коновалова Е. К.*  
Корректор *Смирнова З. В.*

Г-90631

Подписано к печати 12.5.52

Изд. № 6/4865

Формат бумаги 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>—4 б. л.—8 п. л. + 6 вкл. — 1 б. л.—1 п. л. 9,02 уч.-изд. л. Заказ № 2296

---

*Номинал — по прейскуранту 1952 года*

---

2-я типография имени К. Е. Ворошилова Управления Военного Издательства  
Военного Министерства Союза ССР

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Использовать наблюдения за небесными светилами для своих практических целей люди начали в давние времена, когда у них еще не было никаких технических средств, кроме простейших сельскохозяйственных орудий.

Наблюдая ежедневный восход и заход Солнца, его видимое движение по небесной сфере, люди замечали, что в середине дня оно достигает наивысшей точки на небе, что время восхода и захода, а также высота Солнца над горизонтом в полдень меняются закономерно в течение года. Наблюдения ночью обнаружили также закономерность вращения звездного неба, закономерность движения и изменения вида Луны. Это дало возможность людям свои наблюдения небесных светил использовать для решения важнейших жизненных задач — определения направления в пространстве и счета времени.

В те далекие времена людям, занимающимся земледелием, необходимо было знать время смены дня и ночи, наступление времени года, чтобы подготовиться и провести сельскохозяйственные работы. Людям, занимающимся скотоводством, надо было уметь определять направление для перегона скота на значительные расстояния, хотя бы приближенно ориентироваться на местности, чтобы иметь представление о своем местонахождении относительно соседей.

Практические потребности человека привели к тому, что наблюдаемая закономерность движения небесных светил легла в основу счета времени и летоисчисления. Небесные светила послужили первыми ориентирами, по которым древние люди определяли направление при дальних переходах.

Первые записи астрономических наблюдений уже велись народами Африки и Азии, жившими примерно за 3000 лет до нашей эры.

Таким образом, астрономия — наука о небесных светилах — является древнейшей наукой, возникшей на основе практических потребностей человека.

Ф. Энгельс в «Диалектике природы», говоря о последовательности развития отраслей естествознания, указывает, что вначале начала развиваться астрономия, которая уже из-за времен года

была абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов<sup>1</sup>.

Изучение законов вселенной помогло также развитию математики, физики и других наук. Но, помогая другим наукам, она в свою очередь использовала их данные для более глубокого познания законов развития вселенной. Так, математика была необходима для различных вычислений при измерениях, физика помогала изучать законы движения, строение небесных светил и т. д.

Астрономия на протяжении всей своей долгой истории сыграла исключительно большую роль в развитии материалистического мировоззрения, борясь с суевериями и религиозными предрассудками. Например, узнав причины солнечных затмений, люди перестали испытывать суеверный страх перед этим явлением.

Астрономия, являясь одной из научных основ диалектического материализма, и в настоящее время помогает разоблачать неправильные лженаучные буржуазно-идеалистические представления о мире.

С возникновением и развитием торговых отношений между различными народами появилась необходимость в передвижении на значительные расстояния. Преодоление больших морских пространств со значительным удалением от берегов, до появления магнитного компаса было возможно только при помощи небесных светил, наблюдение за которыми помогало мореплавателям держаться нужного направления и определять в открытом море свое местонахождение. Но с течением времени простых наблюдений оказалось недостаточно, люди начали изучать небесную сферу, закономерность движения небесных светил, производить более точные астрономические наблюдения и расчеты.

Развитие астрономии дало возможность людям научно определить форму и размеры Земли, а затем на основе этого создать топографические карты, столь необходимые для больших передвижений по земле и по морю.

Астрономия и в настоящее время является важнейшим средством, при помощи которого мы познаем различные явления природы. В астрономических обсерваториях регулярно ведется наблюдение за небесной сферой, производятся различные измерения движений небесных светил, и после обработки они используются в различных отраслях науки и техники. При помощи практической астрономии мы решаем такие задачи, без которых была бы немислима нормальная жизнь современного общества.

Так, например, наблюдения за движением небесных светил позволяют точно определять время и производить проверку часов.

У нас в СССР эту работу выполняет Служба времени Астрономического института им. Штернберга в Москве, которая систематически ведет наблюдения за небесными светилами и по их положению определяет и хранит время с точностью до 0,001 секунды.

---

<sup>1</sup> Ф. Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1941, стр. 147.

По сигналам точного времени, которые в определенные часы передаются из института по радио, проверяются часы по всему Союзу.

Проверка правильности показаний часов настолько вошла в обиход, что теперь трудно представить себе отсутствие данных о точном времени.

С разной степенью точности оно необходимо всему человечеству. Рабочему, служащему, колхознику в их повседневной жизни оно нужно с точностью до 1—2 минут; для целей кораблевождения и самолетовождения оно необходимо с точностью до нескольких секунд; для производства геодезических съемок оно нужно с точностью до сотых долей секунды и т. д.

Практическая астрономия имеет исключительно большое значение в военном деле.

Глазомерно определять время и направление, ориентироваться относительно стран света по Солнцу, по Луне, по созвездию Большой Медведицы и Полярной звезде должен уметь каждый советский воин.

В артиллерии, например, весьма успешно используются измерения положений небесных светил для определения точного направления стрельбы по цели.

Особенно большое применение практическая астрономия нашла в морском флоте и авиации, где она выделена в самостоятельную отрасль науки: «мореходную астрономию» и «авиационную астрономию». Авиационная астрономия — относительно молодая наука, она зародилась и развилась на базе многовекового опыта использования небесных светил в мореплавании.

Авиационная астрономия восприняла от мореходной астрономии основные методы астрономических навигационных определений, соответственно переработав их для условий полета самолета.

В авиации, как и в морском флоте, весьма важно уметь определять свое местонахождение в любой момент полета.

Как морской корабль, находящийся в открытом море вдали от берегов, нуждается в точном знании своего места, чтобы правильно взять курс для следования в назначенное место, так и самолет — воздушный корабль, пролетая значительные расстояния, часто при невидимости Земли нуждается в точном определении своего места для правильного и своевременного выхода в пункт назначения.

Определение места корабля или самолета по небесным светилам является одной из основных задач мореходной и авиационной астрономии.

Средства и методы этих определений складывались веками.

Древнегреческие мореплаватели уже применяли простейшие весьма неточные методы определения места корабля по небесным светилам. Но с течением времени астрономические приборы и методы пользования ими совершенствовались, особенно в эпоху великих географических открытий XV и XVI вв., когда корабли всего мира бороздили неизведанные пространства океанов.

Своего значения для кораблевождения астрономия не утратила и с появлением магнитного компаса, так как точность его показа-

ний зависит от трудно учитываемых ошибок. Знаменитый мореплаватель Колумб, открывший в 1492 г. Америку, отмечая ненадежность работы магнитного компаса, говорил: «Существует лишь одно безошибочное корабельное исчисление — это астрономическое; счастлив тот, кто с ним знаком».

Действительно, в 1819 г. русские моряки, находясь вблизи неизвестной суши и определяя свое местонахождение по небесным светилам, открыли новую часть света — Антарктиду.

В середине прошлого столетия на основе накопившегося веками опыта кораблевождения был открыт метод точного определения места корабля, находящегося в открытом море. Большие заслуги в этом принадлежат нашим соотечественникам ученым и морякам: Ломоносову, Шуберту, Литке, Акимову и др.

В 1849 г. черноморский моряк корпуса флотских штурманов поручик Михаил Александрович Акимов опубликовал статью, в которой предлагал совершенно новый, более совершенный способ определения места корабля по небесным светилам, разработанный им еще в 1839 г.

Этот способ был гораздо проще и удобнее, чем способ, предложенный американским капитаном торгового судна Сомнером.

По способу Сомнера, линия положения, т. е. линия, на которой находится наблюдатель, определялась по двум точкам, задаваясь приближенными, или, как их называют, счислимыми широтами. Акимов же предложил способ построения линий положения **по счислимой точке и азимуту светила**. Этот способ значительно сокращает вычисления и дает превосходные результаты.

Способ Акимова был быстро воспринят моряками всего мира и с успехом применялся в мореплавании. Только консервативное английское морское офицерство продолжало пользоваться устаревшими трудоемкими методами раздельного определения широты и долготы места. При этом обычно широту определяли по Солнцу в полдень, а долготу утром или вечером. Естественно, что такое разновременное определение координат приводило к грубым ошибкам в определении действительного места корабля.

Только в 1864 г., спустя 15 лет после опубликования статьи Акимова, английский морской офицер Джонсон в упрощенном виде опубликовал способ Акимова и выдал его за свой, не упомянув имени подлинного автора. Так, и поныне в английских учебниках способ Акимова именуется способом Джонсона.

Построение линии положения перпендикулярно к вычисленному азимуту светила и в настоящее время является основой практического применения астрономии в морском флоте и авиации, именно им, способом Акимова, и по сей день пользуются морские и авиационные штурманы всего мира.

В настоящее время этот способ значительно усовершенствован. Наши отечественные штурманы и астрономы Н. Калитин, А. Волохов, В. Ветчинкин, Н. Кудрявцев, Л. Сергеев, Р. Куницкий, И. Жонголович и др. разработали новые астрономические таблицы и приемы расчета линии положения.

Таким образом, способ построения астрономической линии положения корабля или самолета в современном его понимании является плодом коллективного труда, в котором главную роль сыграли работы выдающихся русских ученых и штурманов, среди которых первое место по праву принадлежит М. А. Акимову.

Авиаторы и моряки нашей великой страны и всего мира должны знать, что за применяемый ныне способ построения линии положения по вычисленной точке и азимуту светила мы обязаны не Сомнеру и не Джонсону, а русскому штурману Акимову и что наименование «линия Сомнера» или «способ Джонсона» не соответствует действительности.

Советские авиационные штурманы восприняли лучшие методы навигации у своих морских соотечественников и непрерывно совершенствовали их.

Впервые в мире опыты астрономических измерений для определения местоположения воздушного шара в воздухе были произведены русскими воздухоплавателями в 1897—1898 гг.

Применять астрономические приборы на самолетах также впервые начали наши русские летчики, используя их при дальних полетах на тяжелых самолетах «Илья Муромец» и «Русский витязь» еще в 1913—1916 гг., намного опередив в этом зарубежную авиацию.

Наиболее быстро авиационная астрономия начала развиваться после Великой Октябрьской Социалистической революции и особенно в годы сталинских пятилеток.

В героических перелетах по сталинскому маршруту и через Северный полюс в 1936—1937 гг. наши отважные штурманы, умело применяя различные новейшие технические средства самолетовождения, блестяще выполнили сложнейшие полеты.

Особо важную роль в этих полетах сыграло применение астрономических средств, так как в условиях полета в высоких географических широтах Арктики только использование небесных светил для целей самолетовождения дало возможность постоянно иметь данные о своем местонахождении и надежно определять и выдерживать направление полета.

Наши выдающиеся военные штурманы А. В. Беляков, С. А. Данилин, И. Т. Спирин, Б. В. Стерлигов, известный штурман В. И. Аккуратов и другие добились огромных успехов в самолетовождении благодаря глубокому знанию авиационной астрономии и умелому ее применению в полете.

В наше время развитие авиационной техники приняло небывалые размеры благодаря тому, что в нашей стране науке и технике очень много внимания уделяет и партия и лично товарищ Сталин. Современные отечественные астрономические средства самолетовождения обеспечивают высокую точность и безопасность полета. Они позволяют решить две основные штурманские задачи в полете:

- определить место самолета,
- определить курс следования в полете.



Астрономические средства самолетовождения значительно отличаются от других навигационных средств ценнейшими преимуществами в самолетовождении, к которым относятся: простота конструкции и удобство эксплуатации приборов, независимость их работы от Земли и наземных устройств и т. д.

Астрономические способы решения задач самолетовождения основаны на знании законов движения небесных светил, измерении их положения и на соответствующих штурманских расчетах. Поэтому для каждого штурмана, помимо знания астрономических средств и умения пользоваться ими, весьма важно знать звездное небо, понимать сущность видимых движений небесных светил и уметь производить расчеты для получения того или другого навигационного элемента полета.

Основное пособие — звездное небо — у каждого изучающего астрономию всегда перед глазами, почаще наблюдайте его, читайте эту великую книгу природы!

---

## 1. НЕБЕСНАЯ СФЕРА

Для целей самолетовождения используется ограниченное количество небесных светил: днем Солнце и иногда Луна; ночью — Луна и наиболее яркие планеты и звезды. К наиболее ярким аэронавигационным звездам относятся: Полярная, Вега, Капелла, Арктур, Прокцион, Альтаир, Бетельгейзе, Альдебаран, Спика, Денеб, Регул, Алиот и Альферац. К наиболее ярким планетам относятся Марс, Юпитер, Сатурн, Венера.

При полетах в широтах от 14 до 28° дополнительно еще можно пользоваться звездами Ригель, Антарес, Поллукс и Фомальгаут.

Обычно в одно и то же время используется одно или два светила, положение которых относительно самолета дает наибольшую точность определения навигационных элементов и представляет наибольшее удобство для измерения в данных условиях полета.

Найти Солнце или Луну на небе нетрудно. Что же касается звезд и планет, то для того, чтобы находить их, нужно уметь ориентироваться на звездном небе.

### Звездное небо

Звездное небо представляется нам в виде огромного купола, опрокинутого над нами, на котором все звезды неподвижны относительно друг друга. Образованная видимыми звездами небесная сфера вращается вокруг своей оси, называемой осью мира, которая проходит параллельно оси вращения Земли<sup>1</sup>.

Вращение небесной сферы является кажущимся. На самом деле Земля вращается вокруг своей оси, а нам кажется, что вращается звездное небо. Для целей самолетовождения не имеет значения, что именно вращается, Земля или звездное небо, поэтому для простоты рассуждений мы будем в дальнейшем считать, что вращается звездное небо. Небесная сфера производит полный оборот за одни сутки.

Нам также кажется, что все звезды находятся от нас на громадном, но одинаковом расстоянии. Фактически же расстояние от Земли до звезд очень большое, но далеко не одинаковое. Для самолетовождения также не имеет значения расстояние до звезд, так как

<sup>1</sup> Ось мира можно считать также и продолжением оси вращения Земли, так как размеры Земли относительно расстояния даже до ближайших звезд ничтожно малы.

мы пользуемся не расстоянием до них, а величинами угловых перемещений, поэтому условно будем считать, что все звезды находятся как бы на внутренней поверхности вращающегося вокруг Земли шара, называемого небесной сферой. Внимательно наблюдая ночью небо, мы увидим, что оно не так однообразно, как кажется на первый взгляд. Мы заметим, что одни звезды ярче, другие бледнее, что в одной стороне неба одни звездные рисунки, в другой — другие. По своей яркости звезды делятся на звездные величины. К звездам первой величины относятся звезды, которые в 100 раз ярче самых слабых по яркости звезд на небе, видимых невооруженным глазом, менее яркие — к звездам второй величины, они в 2,5 раза по яркости слабее звезд первой величины, еще менее яркие — к звездам третьей величины, они по яркости в 2,5 раза слабее звезд второй величины и т. д. Звезды каждой следующей звездной величины светят в 2,5 раза слабее звезд предыдущей звездной величины. Самые слабые по яркости звезды, видимые при нормальном зрении невооруженным глазом, относятся к звездам шестой величины. Для более точного разграничения яркости применяются дробные обозначения звездных величин. Например, звездная величина Полярной звезды 2,1; Веги 0,1; Алиота 1,7 и т. д. К наиболее ярким звездам относятся звезды, величина которых меньше единицы, в том числе и звезды с отрицательной величиной, как, например, Сириус, звездная величина которого равна минус 1,6. Для человека с нормальным зрением одновременно над горизонтом видно около 3000 звезд.

Если звездными величинами выразить самые яркие светила неба, то оказывается: звездная величина Солнца — минус 26,8; Луны (полной) — минус 12,6; Венеры — минус 4,3; Марса — минус 2,8; Юпитера — минус 2,5. Все звездное небо условно разбито на участки (см. приложение 6). Эти участки называются созвездиями. Всего их на небе 88. Каждое созвездие имеет свое название. Названия давались созвездиям еще в древние времена по конфигурациям характерных групп звезд. В этих фигурах люди находили сходство с какими-либо животными, предметами или сказочными героями. Эти названия сохранились и до наших дней.

Например, созвездие Большой Медведицы на старинных картах изображалось в виде медведя (рис. 1). Созвездие Ориона изображалось так, как указано на рис. 2. В каждом созвездии звезды обозначаются буквами греческого алфавита, а наиболее яркие из них имеют еще и собственные названия.

Для изучения звездного неба существует несколько способов отыскания звезд. Один из них следующий. Вся небесная сфера условно разбивается на три больших участка, характерных яркими созвездиями и звездами.

На первом участке неба прежде всего необходимо уметь найти созвездие Большой Медведицы. Оно характерно семью достаточно яркими звездами, образующими фигуру ковша (рис. 3).

Ввиду вращения звездного неба ручка ковша иногда бывает направлена влево, иногда вниз или вверх, а иногда этот ковш опрокинут кверху дном; тогда он бывает виден почти над головой.

Третья звезда от конца ручки ковша является аэронавигационной звездой **Алиот**. Если мысленно соединить линией две крайние звезды, противоположные ручке ковша Большой Медведицы, и ли-

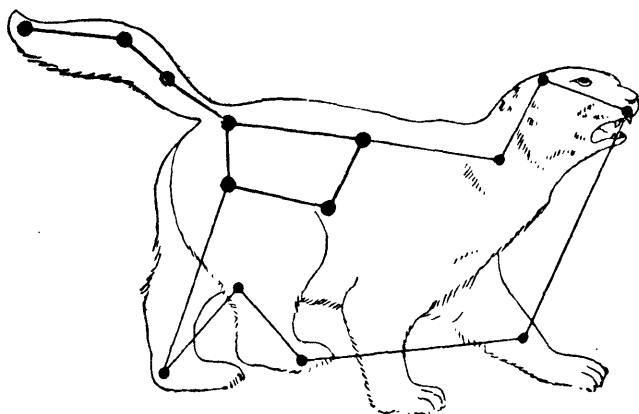


Рис. 1. Фигура созвездия Большая Медведица

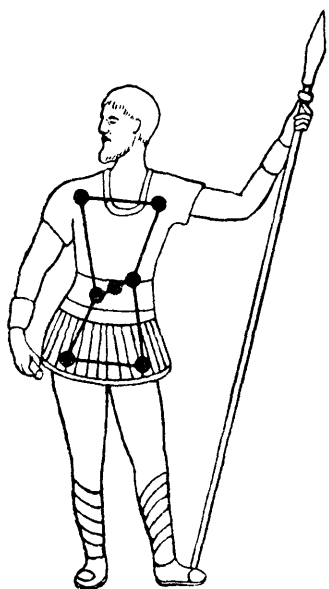


Рис. 2. Фигура созвездия Орион

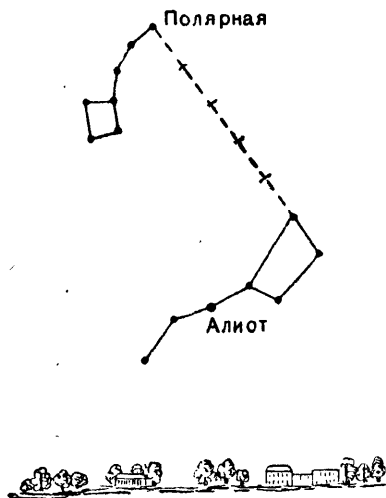


Рис. 3. Созвездие Большая Медведица и Полярная звезда

нию продолжить вверх от дна ковша, отсчитав по этой линии пять отрезков, примерно равных расстоянию между этими звездами, мы встретим Полярную звезду. Полярная звезда находится

почти у точки северного полюса мира и так как ее вращение вокруг оси мира на глаз незаметно, то она может служить надежным ориентиром для определения направления на север. Полярная звезда входит в созвездие Малой Медведицы, тоже напоминающее ковш, но меньшего размера. Это созвездие состоит из менее ярких звезд, чем созвездие Большой Медведицы. Если продолжить дугообразную линию ручки ковша Большой Медведицы, то на этой линии мы встретим яркую звезду Арктур, входящую в созвездие Волопаса, а еще дальше на продолжении этой линии нам встретится звезда Спика, входящая в созвездие Девы.

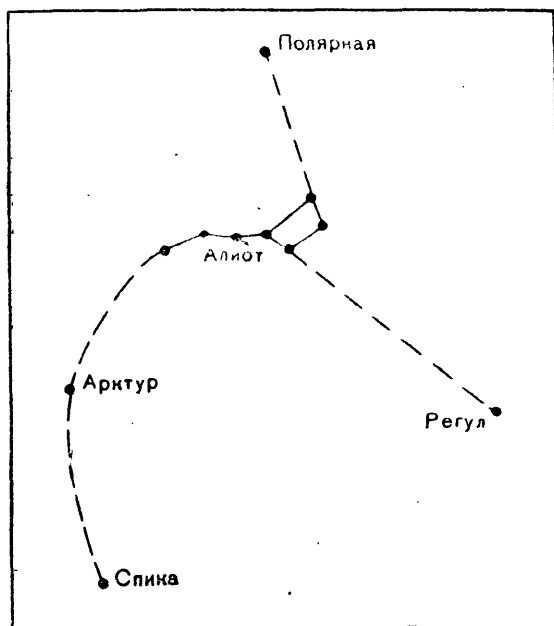


Рис. 4. Участок неба со звездами Алиот, Арктур, Спика и Регул

Последнюю аэронавигационную звезду этого участка неба Регул, входящую в созвездие Льва, можно найти, проведя прямую линию через две средние звезды ковша Большой Медведицы в сторону, противоположную Полярной. На этой линии, отложив от Большой Медведицы примерно полуторное расстояние до Полярной, мы и встретим яркую звезду Регул (рис. 4).

На втором участке неба находится яркое красивое созвездие Орион с тремя рядом стоящими звездами (пояс Ориона) в середине большого четырехугольника. Орион особенно хорошо виден зимой. Две самые яркие звезды этого созвездия, находящиеся в противоположных углах четырехугольника, — также аэронавигационные звезды. Звезда, которая ближе к Полярной, называется Бетельгейзе, дальше — Ригель. На продолжении спиралеобразной ли-

нии, выходящей из пояса Ориона и проведенной через все крайние звезды Ориона, мы последовательно встретим яркие звезды: Альдебаран, Капеллу, Поллукс, Прокцион и самую яркую звезду неба Сириус (рис. 5).



Рис. 5. Участок неба со звездами Бетельгейзе, Ригель, Альдебаран, Капелла, Поллукс, Прокцион и Сириус

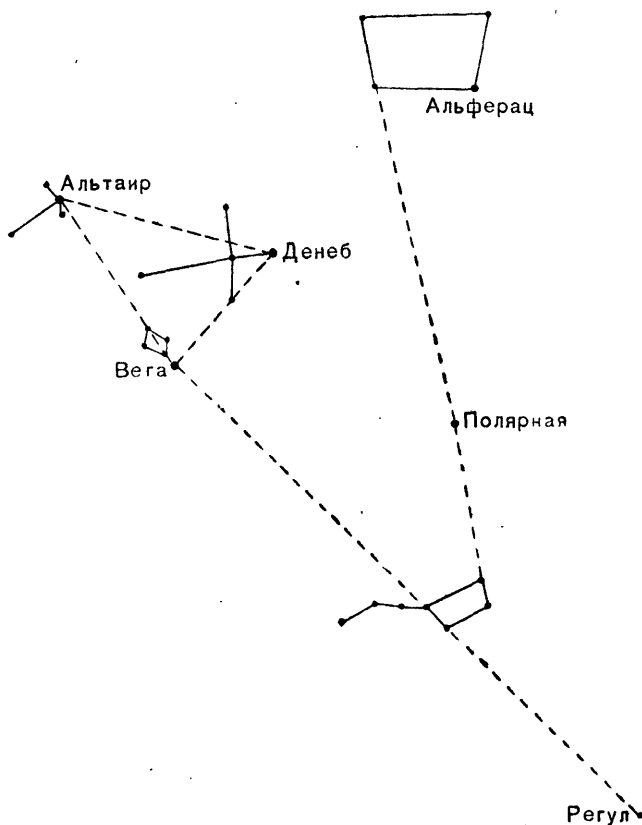
Третий участок неба характерен блестящей звездой Вегой, входящей в созвездие Лиры.

Вега находится на продолжении линии, проведенной через две средние звезды ковша Большой Медведицы в сторону, противоположную направлению на звезду Регул.

Рядом с Вегой находятся четыре мелкие по яркости звезды этого же созвездия, образующих фигуру маленького параллелограмма.

К созвездию Лиры примыкает крестообразная фигура созвездия Лебеда, в вершине этого креста находится яркая звезда Денеб. Вместе со звездами Вега и Денеб, образуя почти равносторонний

треугольник, находится звезда **Альтаир**, средняя и самая яркая из трех рядом стоящих звезд созвездия **Орла**, напоминающего фигуру самолета. Невдалеке от этих созвездий на прямой линии, идущей от двух крайних звезд ковш **Б. Медведицы** через **Полярную**, находится группа звезд, образующих примерно квадрат. Наиболее яркая из них звезда **Альферац**, входящая в созвездие **Андромеды** (рис. 6).



**Рис. 6.** Участок неба со звездами Вега, Денеб, Альтаир и Альферац

Мы рассмотрели все аэронавигационные звезды, используемые при полетах в наших географических широтах.

Каждый штурман, начиная изучение звезд с северной части неба, должен натренироваться так, чтобы по отдельным участкам неба уметь быстро находить нужные созвездия и звезды. Это необходимо потому, что в полете могут быть случаи, когда из-за облаков только часть неба бывает открыта с одной или несколькими навигационными звездами.

Обычно несколько внимательных тренировок ночью в ориентировке на звездном небе дают хорошие результаты и, как правило, практически освоенные приемы отыскания звезд остаются в памяти на всю жизнь.

Чтобы облегчить отыскание аэронавигационных звезд на небе, сведем данные о них в таблицу, в которой звезды расположены в порядке яркости.

Наименование аэронавигационной звезды	Звездная величина	Оттенок звезды	Способ отыскания
Вега ( $\alpha$ Лир)	0,1	Белый	По яркости. Находится на продолжении линии, проведенной через две средние звезды ковша Большой Медведицы. Около звезды расположен маленький параллелограм из четырех неярких звезд. Поблизости созвездие Лебедя, имеющее характерную форму креста
Капелла ( $\alpha$ Возничего)	0,2	Желтый	По яркости. Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион между этим созвездием и Полярной звездой
Арктур ( $\alpha$ Волопаса)	0,2	Оранжевый	По яркости. Лежит на продолжении ручки ковша созвездия Большой Медведицы
Процион ( $\alpha$ М. Пса)	0,5	Белый	Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион к звезде Сириус (рис. 5)
Альтаир ( $\alpha$ Орла)	0,9	"	По характерному созвездию Орла, четыре звезды которого напоминают фигуру самолета. Поблизости крестообразная фигура созвездия Лебедя и яркая звезда Вега
Бетельгейзе ( $\alpha$ Ориона)	0,9	Красный	Наиболее яркая из двух верхних звезд созвездия Ориона
Альдебаран ( $\alpha$ Тельца)	1,1	Красноватый	Находится на спиралеобразной линии, идущей от созвездия Орион. Неподалеку находится характерная ковшеобразная кучка неярких звезд созвездия Плеяды
Сика ( $\alpha$ Девы)	1,2	Белый	Находится на продолжении ручки ковша созвездия Большой Медведицы, следующая яркая звезда за Арктуром



Наименование аэронавигационной звезды	Звезд- ная ве- личина	Оттенок звезды	Способ отыскания
Денеб ( $\alpha$ Лебедя)	1,3	Белый	По характерной крестообразной фигуре созвездия Лебедя и по звездам Вега и Альтаир, с которыми Денеб образует почти равнобедренный треугольник
Регул ( $\alpha$ Льва)	1,3	"	Находится на продолжении прямой, проведенной через две средние звезды ковша созвездия Большой Медведицы в сторону, противоположную Полярной звезде
Алиот ( $\epsilon$ Большой Медведицы)	1,7	"	Самая яркая звезда созвездия Большой Медведицы, третья от конца ручки ковша
Альферац ( $\alpha$ Андромеды)	2,1	"	Самая яркая звезда квадрата из звезд, находящегося на прямой линии от Полярной звезды в противоположную сторону от созвездия Большой Медведицы
Полярная ( $\alpha$ Малой Медведицы)	2,1	"	Находится на продолжении прямой линии, проведенной через две крайние звезды ковша созвездия Большой Медведицы

### Солнечная система

Солнце является одной из бесчисленных звезд, несущихся в мировом пространстве. Оно входит в нашу звездную систему, называемую Галактикой. Это ближайшая к нам звезда. Вокруг Солнца, под действием инерции и силы притяжения Солнца, обращаются девять планет, девять шарообразных темных тел, одним из которых является наша Земля (рис. 7).

Каждая планета имеет свое название: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон.

Меркурий и Венера находятся ближе к Солнцу, чем Земля, а остальные дальше. Самая дальняя планета — Плутон, она в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля.

Периоды обращения планет вокруг Солнца различны. Например, Земля делает полный оборот вокруг Солнца в 1 год, Меркурий — примерно в  $\frac{1}{4}$  года, Юпитер — в 12 лет, а Плутон — почти в 250 лет.

Невооруженным глазом на небе видны пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, из которых в авиации используются последние четыре. Среди звезд планеты выделяются своей большей

яркостью, хотя света не излучают; они, как и Земля, освещаются Солнцем, поэтому и видимы. В отличие от звезд, непрерывно мерцающих и меняющих свою яркость, особенно морозной ночью, в ветреную погоду и после дождя, планеты всегда сияют ровным немерцающим светом.

Видимое положение планет относительно звезд непостоянно. Планеты как бы блуждают среди звезд. Собственно и слово «планета» на древнегреческом языке означало — блуждающее светило.

В результате обращения планет вокруг Солнца и сочетания движения Земли с движением каждой планеты это перемещение планет относительно звезд происходит то быстрее, то медленнее, то это перемещение направлено в сторону суточного вращения небесной

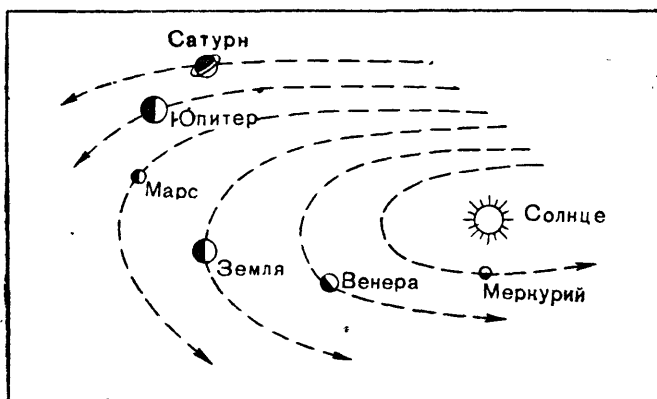


Рис. 7. Движение Земли и других планет вокруг Солнца

сферы, то в противоположную сторону. Причиной этого является неравномерная угловая скорость обращения планет вокруг Солнца, а также и то, что мы наблюдаем это с Земли, которая сама обращается вокруг Солнца.

Для отыскания планет пользуются схемой перемещения их по звездному небу. Схема эта имеется в «Авиационном астрономическом ежегоднике».

На рис. 8 изображена схема перемещения по звездному небу планеты Венеры во второй половине 1951 г. Как видно из схемы, Венера 1 июля 1951 г. находилась вблизи созвездия Льва, потом, пройдя его и совершив в августе — октябре петлеобразный путь, в конце ноября вышла в созвездие Девы, а к концу года прошла созвездие Весы и вышла к созвездию Скорпион.

Венера светит беловатым светом, она ярче всех других планет и тем более звезд. Венера никогда не уходит далеко от Солнца. В ясную погоду ее можно наблюдать либо вечером на западе, вскоре после захода Солнца, либо утром на востоке, незадолго до его восхода. Поэтому Венеру обычно называют или «вечерней звездой» или «утренней звездой».

Марс, Юпитер и Сатурн могут быть наблюдаемы в любой час ночи.

— Марс — следующая за Венерой по яркости планета красноватого цвета, гораздо ярче звезд первой величины.

— Юпитер — желтоватого цвета, примерно одинаковой яркости с Марсом.

Сатурн — желтовато-сероватого цвета, по яркости примерно одинаков со звездой первой величины.

Почти каждая планета имеет спутников, одного или нескольких, обращающихся вокруг нее. Луна является единственным спутником Земли и ближайшим к нему небесным светилом, обращающимся вокруг Земли под действием инерции и силы земного притяжения. Луна так же, как и планеты, светит отраженным светом Солнца.

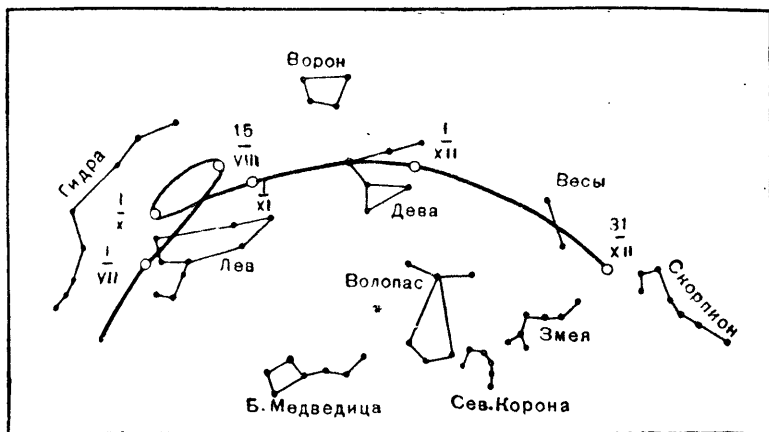


Рис. 8. Схема перемещения по звездному небу планеты Венера во второй половине 1951 г.

Полный оборот по орбите вокруг Земли Луна совершает в течение  $27 \frac{1}{3}$  суток, оставаясь при этом обращенной к Земле все время одной стороной. Этот промежуток времени называется сидерическим, или звездным, месяцем. За это время Луна, описав по небесной сфере полный круг, возвращается к первоначальному положению относительно звезд.

Промежуток времени между двумя последовательными новолуниями называется синодическим месяцем. Продолжительность синодического месяца равна  $29 \frac{1}{2}$  суток (см. приложение 5). Увеличение продолжительности синодического месяца по сравнению с сидерическим более чем на двое суток объясняется запаздыванием каждого последующего новолуния из-за движения Земли по своей орбите вокруг Солнца. Луна за время между новолуниями проходит больше чем полный оборот ( $360^\circ$ ) вокруг Земли, на величину перемещения Земли вокруг Солнца за это же время. Это перемещение Земли составляет примерно  $30^\circ$ . Значит, Луна проходит по своей орбите за синодический месяц  $360^\circ + 30^\circ = 390^\circ$  (рис. 9).

В зависимости от положения Луны относительно Солнца и Земли мы наблюдаем меньшую или большую часть освещенного лунного диска, т. е. наблюдаем различные фазы Луны.

Во время нахождения Луны между Солнцем и Землей к нам обращена неосвещенная часть Луны, и мы Луны не видим. Эта фаза называется новолунием.

Когда Луна находится с противоположной стороны от Солнца, т. е. когда Земля находится между Солнцем и Луной, все обращенное к нам полушарие Луны ярко освещено. Эта фаза называется полнолунием. В промежуточных положениях нам видна та или другая часть освещенной Луны, поэтому она имеет вид полудиска, или серпа (рис. 10).

Основных фаз Луны четыре: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть; следовательно, промежуток времени между фазами Луны немного больше 7 суток.

Возрастом Луны называется промежуток времени, протекший от новолуния; например, Луне в первой четверти примерно 7 суток, а в полнолуние 15 суток.

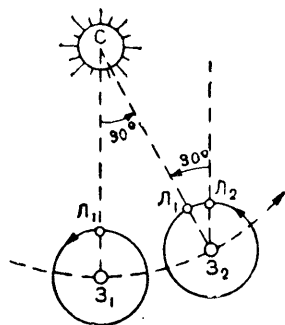


Рис. 9. Прохождение Луны за синодический месяц.

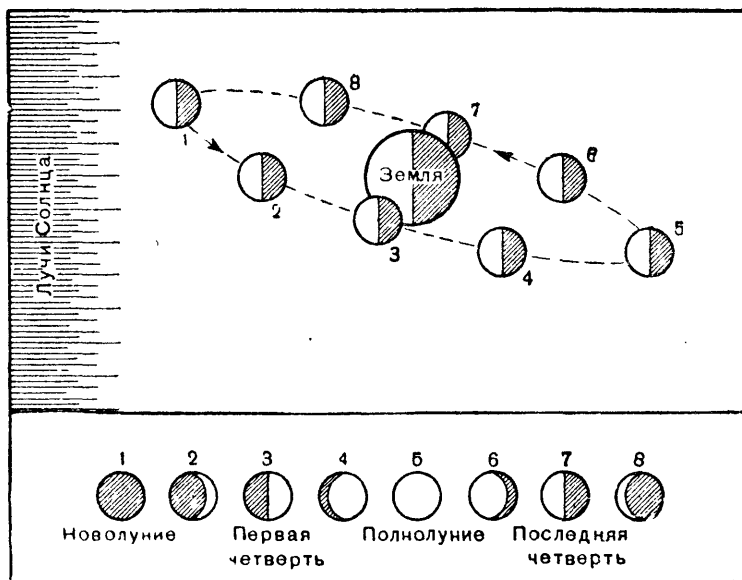


Рис. 10. Фазы Луны

Движение Луны на небосводе наиболее сложно по сравнению с движением других светил. Это объясняется тем, что на Луну,

помимо земного притяжения, действует притяжение Солнца, под влиянием которого закономерность движения Луны значительно изменяется.

## Небесные координаты

Прежде чем приступить к рассмотрению небесных координат, уясним себе основные точки и круги на небесной сфере.

Мы уже упоминали, что бесконечные светила нам кажутся отстоящими от нас на одинаковом, бесконечно большом расстоянии, образуя небесную сферу, в центре которой находится Земля.

Так как между небесными светилами и Землей лежат огромные пространства, радиус небесной сферы принято считать неопределенным, произвольным. Поэтому при рассмотрении схемы небесной сферы мы обозначаем ее любым радиусом, а Землю изображаем просто точкой — центром этой сферы. Чтобы представить небесную сферу, совершенно неважно, где именно на Земле будет находиться наблюдатель, а поэтому считают, что центр небесной сферы всегда находится в глазу наблюдателя. В авиационной астрономии на небесной сфере производятся только угловые измерения. Для уяснения небесных координат построим небесную сферу с центром в точке наблюдения (рис. 11). Точка, расположенная по вертикали (по отвесной линии) над головой наблюдателя, называется зенитом ( $Z$ ). Другими словами, зенит есть точка на небе, куда упирается мысленное продолжение радиуса Земли, проведенного через точку наблюдения. Точка, расположенная в противоположном направлении от зенита, называется надиром ( $Z'$ ).

Горизонтальная плоскость, проведенная через центр сферы, в пересечении с небесной сферой образует большой круг, называемый истинным горизонтом (круг  $NESW$ ).

Плоскость истинного горизонта делит небесную сферу на две части: надгоризонтную полусферу, в которой расположен зенит, и подгоризонтную полусферу, в которой расположен надир.

Прямая линия, параллельная оси вращения Земли, называется осью мира, а точки ее пересечения с небесной сферой называются полюсами мира:  $P$  — северный,  $P'$  — южный.

Ось мира является осью вращения небесной сферы.

Большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется небесным экватором. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на северную полусферу, в которой расположен северный полюс мира, и южную полусферу, в которой расположен южный полюс мира. Пересечение небесного экватора с истинным горизонтом образует точку востока  $E$  и точку запада  $W$ .

Любая вертикальная плоскость, проходящая через зенит и надир, будет перпендикулярной и к плоскости истинного горизонта. Пересечение такой плоскости с небесной сферой дает дугу большого круга, называемую вертикалом, причем вертикал, проходящий через точки  $E$  и  $W$ , называется первым вертикалом. Любой круг

небесной сферы, плоскость которого проходит через ось мира, называется часовым кругом, или кругом склонения. Все они проходят через полюс мира и перпендикулярны к небесному экватору.

Круг склонения, проходящий через зенит, называется небесным меридианом.

Как видно из рисунка, небесный меридиан будет в то же время и вертикалом. Пересечение небесного меридиана с истинным горизонтом образует точку севера (N) и точку юга (S).

Прямая линия, соединяющая точку севера и точку юга, называется полуденной линией; в полдень (12 часов по местному времени) тень от предметов падает по этой линии.

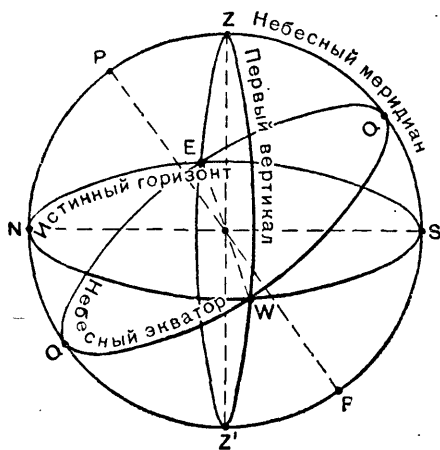


Рис. 11. Основные точки и круги на небесной сфере

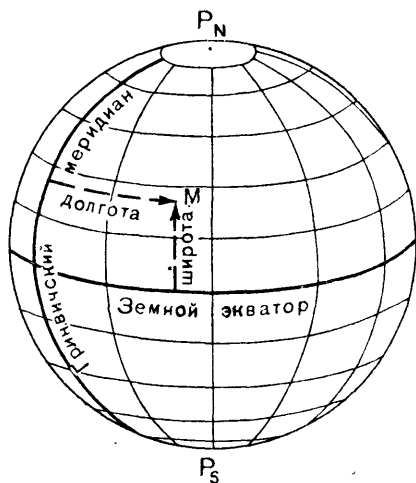


Рис. 12. Географические координаты

В нашем северном полушарии, если стать лицом к югу, вращение небесной сферы будет происходить с востока на запад.

Положение каждого светила на небесной сфере определяется небесными координатами, которые выражаются двумя величинами, подобно тому как положение каждого пункта на Земле определяется его географическими координатами: широтой и долготой.

На земной поверхности широта места отсчитывается от экватора к северу или к югу, а долгота к западу или востоку от начального (нулевого) меридиана, каким является гринвичский меридиан, проходящий через гринвичскую астрономическую обсерваторию, расположенную близ Лондона (рис. 12).

Например, Москва имеет координаты: северная широта ( $\varphi$ )  $+55^{\circ}47'$ , восточная долгота ( $\lambda$ )  $+37^{\circ}38'$ . Эти координаты полностью определяют место Москвы на земной поверхности.

В авиационной астрономии применяются две системы небесных координат: горизонтальная и экваториальная. В каждой из этих систем положение любой точки на небесной сфере определяется

двумя координатами, одна из которых дает угловое расстояние точки от небесного меридиана (аналогично географической долготе), вторая — угловое расстояние этой точки от небесного экватора или истинного горизонта (аналогично географической широте).

**Горизонтальная система координат** (рис. 13). В этой системе основными кругами, относительно которых определяется место светила, являются истинный горизонт и небесный меридиан. Место светила на небесной сфере определяется двумя координатами — азимутом  $A$  и высотой  $h$ . Азимутом светила называется угол<sup>1</sup>, отсчитываемый по дуге истинного горизонта от точки севера через восток до вертикала светила. Иначе говоря, угол между направлением на север и направлением на светило, отсчитанный в горизонтальной плоскости по часовой стрелке, и будет являться азимутом этого светила. Азимут может принимать значение от 0 до  $360^\circ$ .

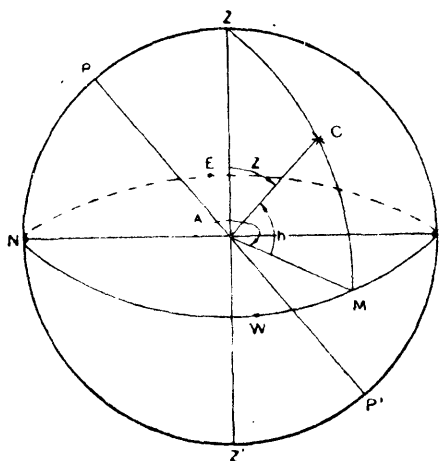


Рис. 13. Горизонтальные координаты

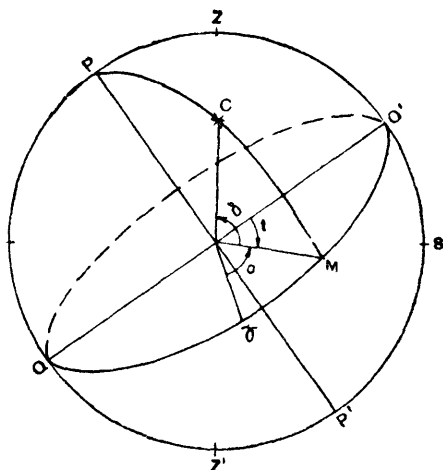


Рис. 14. Экваториальные координаты

Высотой светила  $h$  называется угол, отсчитываемый по дуге вертикала от истинного горизонта до светила, т. е. высотой светила является угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило. Высота может принимать значение от 0 до  $\pm 90^\circ$ . Если светило находится над горизонтом, высота его считается положительной, если оно под горизонтом — отрицательной. В практике мы пользуемся только положительными высотами светил, так как при отрицательной высоте светило не видно.

Вместо высоты иногда пользуются другой координатой — зенитным расстоянием  $z$ , являющимся дополнением высоты до  $90^\circ$ .

$$h + z = 90^\circ.$$

<sup>1</sup> Здесь и далее мы будем говорить об углах, отсчитываемых по дуге, основываясь на том, что всякий центральный угол может измеряться дугой окружности, стягивающей этот угол.

Зенитные расстояния отсчитываются также по дуге вертикала, но только от зенита они могут принимать значение от 0 до 180°. Следовательно, светила, расположенные в подгоризонтной части неба, имеют зенитное расстояние более 90°.

**Экваториальная система координат** (рис. 14). В этой системе координат основными кругами, относительно которых определяется место светила, являются небесный экватор и небесный меридиан. Место светила на небесной сфере определяется двумя координатами — часовым углом и склонением. Часовым углом светила называется угол, отсчитываемый по дуге небесного экватора от южной части небесного меридиана до круга склонения светила. Он отсчитывается в западном и восточном направлениях от 0 до 180° и соответственно обозначается: западный часовой угол  $t_w$  или восточный часовой угол  $t_E$ .

Склонением светила  $\delta$  называется угол, отсчитываемый по дуге круга склонения светила от небесного экватора до светила, т. е. склонением светила является угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило.

Склонение может принимать значение от 0 до  $\pm 90^\circ$ . Если светило находится в северной полусфере, его склонение считается положительным, если в южной — отрицательным.

Вместо часового угла иногда пользуются другой координатой — прямым восхождением светила  $\alpha$ , которое в отличие от часового угла является постоянным и не изменяется со временем, так как не зависит от вращения небесной сферы.

Чтобы уяснить геометрический смысл этой координаты, сделаем некоторое пояснение.

Положение Солнца относительно звезд меняется. В течение года Солнце описывает полный круг на небесной сфере, за это время дважды пересекая небесный экватор: весной и осенью. Точка небесного экватора, через которую Солнце проходит весной (21 марта), называется точкой весеннего равноденствия и обозначается значком  $\gamma$  (овен). Прямым восхождением светила  $\alpha$  называется угол, отсчитываемый по небесному экватору от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила.

Прямое восхождение отсчитывается от 0 до 360° против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира, т. е. навстречу суточному вращению небесной сферы.

Мы рассмотрели обе системы небесных координат, применяемых в авиации.

Основное достоинство горизонтальной системы координат заключается в простоте измерения координат. Собственно, в авиации измеряются только горизонтальные координаты — или азимут, или высота светила — и по ним после расчетов определяется положение наблюдателя на земном шаре, курс самолета и время.

Вместе с тем знание горизонтальных координат светил весьма мало дает для решения других задач. Вследствие вращения небесной сферы горизонтальные координаты непрерывно и неравномерно изменяются, т. е. данные о каком-нибудь светиле в горизонтальных



координатах относятся только к какому-то определенному моменту времени.

Кроме того, они зависят от положения наблюдателя на Земле, так как положение плоскости истинного горизонта относительно не-

бесной сферы будет зависеть от того, где именно на Земле находится наблюдатель.

Основное достоинство экваториальных координат заключается в том, что они или постоянны, или изменяются равномерно. Положение небесного экватора на небесной сфере не зависит от времени и положения наблюдателя на Земле; следовательно, склонение светила, отсчитываемое от экватора, — координата постоянная для каждого светила.

Прямое восхождение светила отсчитывается от точки весеннего равноденствия, вращающейся вместе с небесной сферой; значит, оно тоже постоянно для каждого светила.

Если вместо прямого восхождения применяется часовой угол, то он изменяется равномерно за счет вращения небес-

Рис. 15. Высота полюса мира равна географической широте места наблюдателя

ной сферы, т. е. строго пропорционально времени. Для составления карт неба и астрономических ежегодников пользуются экваториальными координатами светил.

Горизонтальные и экваториальные координаты одного и того же светила тесно связаны одна с другой и от одних из них можно перейти к другим при помощи таблиц и расчета, что всегда и делается при астрономических навигационных определениях.

Отметим одно интересное и весьма важное для самолетовождения обстоятельство: высота полюса мира равна географической широте места наблюдателя. В самом деле, обратимся к рис. 15. Ось мира и ось Земли параллельны, так как расстояние до северного полюса мира можно считать бесконечно большим. Широта места наблюдателя  $M$  равна высоте полюса мира ( $\varphi = h_p$ ) потому, что стороны этих углов взаимно перпендикулярны. Так будет и в любой точке земного шара. В этом легко убедиться, наблюдая Полярную звезду, находящуюся близ полюса мира, из различных мест, значительно удаленных по широте. Невооруженным глазом хорошо заметно, что Полярная в Москве ( $\varphi \approx 56^\circ$ ) видна выше, чем в Одессе ( $\varphi \approx 46^\circ$ ), а в Архангельске ( $\varphi = 64^\circ$ ) — еще

выше, чем в Москве. На северном географическом полюсе ( $\varphi = 90^\circ$ ) Полярная видна прямо над головой — в зените.

Значит, если мы измерим высоту точки полюса мира, а это легко делается по измерению высоты Полярной, мы сразу же получаем географическую широту своего места.

### Вращение небесной сферы

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси мы наблюдаем суточное вращение звездного неба. Небесная сфера вращается вокруг оси мира, поэтому каждая звезда за сутки описывает окружность, плоскость которой параллельна плоскости небесного экватора.

В зависимости от того, где на Земле находится наблюдатель, меняется и картина вращения звездного неба. В наших средних географических широтах мы наблюдаем такую картину: звезды, расположенные недалеко от Полярной звезды (например, созвездие Большой Медведицы), описывают окружность вокруг Полярной, не заходя за горизонт. Это незаходящие светила. Некоторые звезды восходят из-за горизонта и, пройдя по небосводу, снова скрываются за горизонт. Очевидно, что светила, расположенные недалеко от южного полюса мира, для нас будут совсем невидимыми, так как при своем вращении они не выходят из-под горизонта, поэтому они для нас будут невосходящими светилами (рис. 16, а).

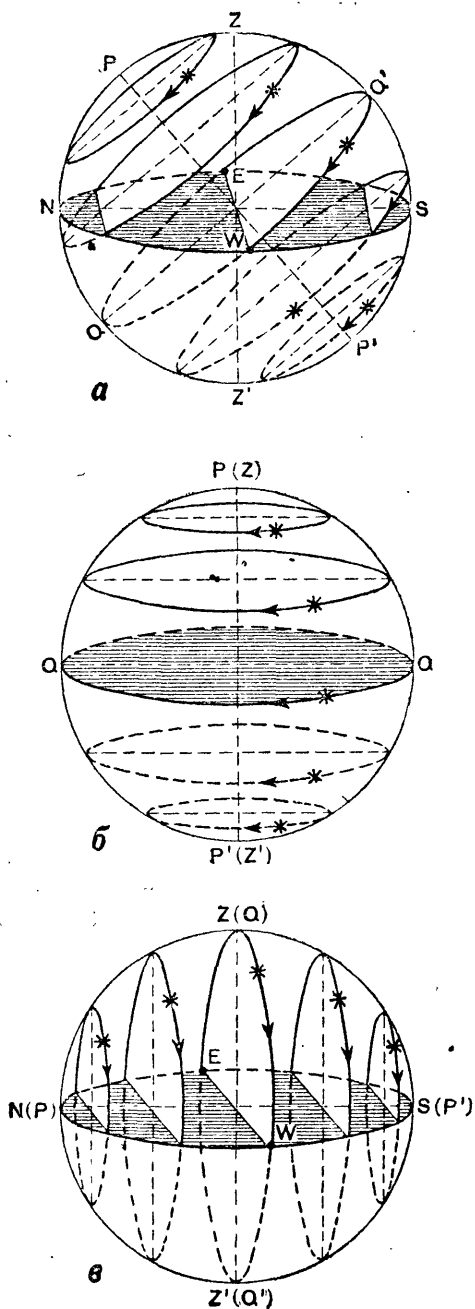


Рис. 16. Видимые движения звезд на различных географических широтах

С увеличением широты места наблюдения количество незаходящих, а значит, и невосходящих звезд увеличивается.

Для наблюдателя, находящегося на полюсе Земли, будет доступна только одна небесная полусфера. Явлений восхода и захода звезд не будет. Все видимые звезды будут вращаться вокруг Полярной параллельно истинному горизонту. Высоты звезд будут постоянными. Эти высоты будут равны склонениям звезд, так как истинный горизонт будет совпадать с небесным экватором (рис. 16, б). Совсем другая картина представится наблюдателю, находящемуся на земном экваторе. Там для наблюдателя будет доступна вся небесная сфера. Все звезды будут восходить и заходить, причем направления их движения будут перпендикулярны к истинному горизонту. Полярная звезда будет видна у самого горизонта в северном направлении (рис. 16, в).

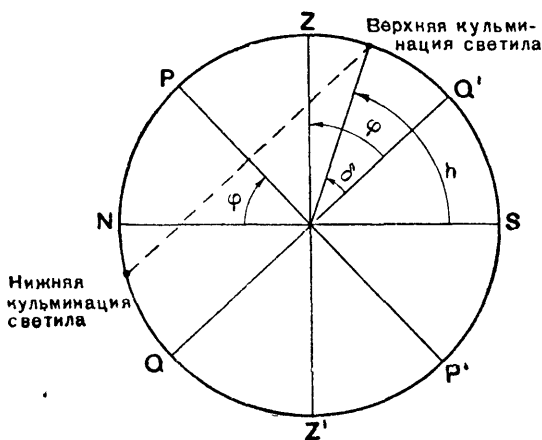


Рис. 17. Взаимосвязь высоты светила со склонением светила и широтой места

Каждое светило в результате своего суточного вращения вокруг оси мира пересекает небесный меридиан в двух точках. Эти точки называются точками кульминации (верхней и нижней). Иначе говоря, кульминацией называется прохождение светила через небесный меридиан. При верхней кульминации высота светила наибольшая, а при нижней — наименьшая.

Азимут светила в момент верхней кульминации всегда равен  $180^\circ$ , а в момент нижней кульминации  $0^\circ$ . Исключением из этого правила являются незаходящие звезды, верхняя кульминация которых будет между полюсом и зенитом, у этих звезд азимут при верхней и при нижней кульминации равен нулю.

Весьма важным в авиационной астрономии является соотношение широты места наблюдателя  $\varphi$  с высотой  $h$  и склонением светила  $\delta$  в момент его кульминации.

На рис. 17 изображено сечение небесной сферы плоскостью небесного меридиана и показано светило в верхней кульминации между точкой юга и зенитом. Из рисунка видно, что в этом случае

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta.$$

Если мы возьмем верхнюю кульминацию светила между зенитом и полюсом, то получится, что  $h = 90^\circ + \varphi - \delta$ . При нижней кульминации светила, рассуждая таким же образом, мы получим

$$h = \varphi + \delta - 90^\circ.$$

По этим соотношениям, зная широту своего местонахождения, которую можно снять с карты, и взяв из «Авиационного астрономического ежегодника» склонение светила, мы можем рассчитать высоту светила в момент его кульминации.

### Годовое движение Солнца по небесной сфере

Земля, помимо суточного вращения вокруг своей оси, отчего происходит смена дня и ночи, обращается еще вокруг Солнца, вследствие чего происходит смена времен года. Полный оборот во-

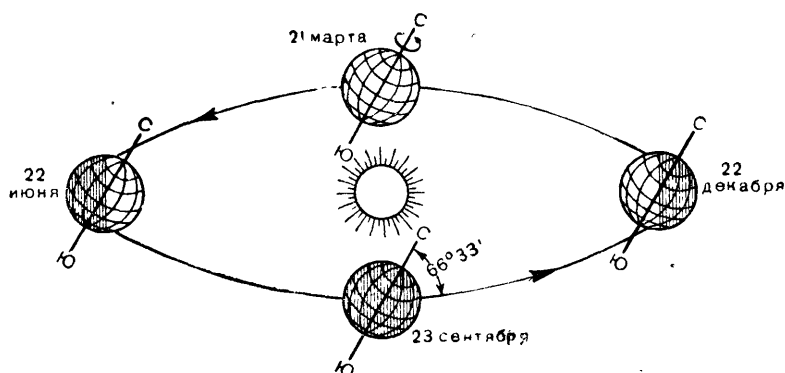


Рис. 18. Положение Земли относительно Солнца в различное время года

круг Солнца Земля делает за  $365\frac{1}{4}$  суток, что составляет год. Если от суточного вращения Земли в одно и то же время на одной стороне экватора бывает день, а на противоположной стороне ночь, то от годового обращения Земли в одно и то же время на одном полюсе бывает лето, на другом — зима.

Ось суточного вращения Земли наклонена к плоскости годового вращения на  $66^\circ 33'$ ; она все время остается параллельной самой себе. В результате этого северное и южное полушария попеременно бывают обращены то в сторону Солнца, то от него, что и определяет время года, которое зависит от высоты и продолжительности пребывания Солнца над горизонтом (рис. 18).

Например, в июне наше северное полушарие наклонено в сторону Солнца, а в декабре — в обратную сторону, поэтому у нас

и бывает в июне теплее, чем в декабре. В южном полушарии соответственно будет обратная картина: в декабре теплее, чем в июне. Но мы не замечаем ни суточного, ни годового вращения Земли. Мы ежедневно видим восход и заход Солнца, хотя нетрудно заметить, что высота его меняется в течение года: летом путь Солнца выше, зимой ниже. Меняются и точки его восхода и захода на горизонте. 21 марта и 23 сентября оно восходит точно на востоке и заходит на западе, между этими датами точки восхода и захода Солнца смещаются или к югу (зимой) или к северу (летом) (рис. 19).

В отличие от звезд, положение которых не меняется на небесной сфере относительно друг друга, положение Солнца на небосводе относительно звезд меняется. В результате вращения Земли

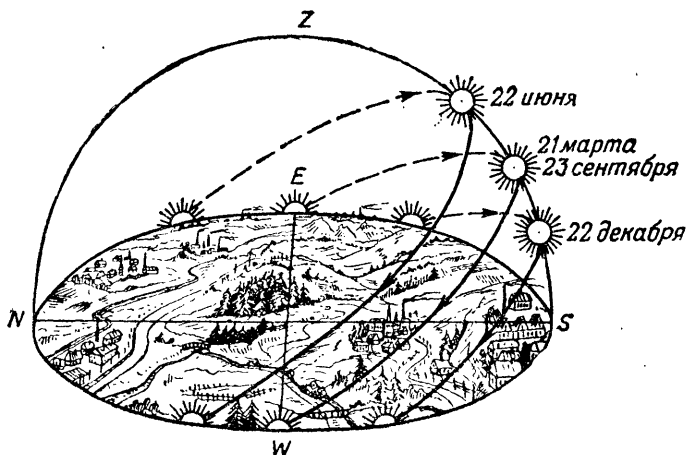


Рис. 19. Положение Солнца над горизонтом в различное время года

вокруг Солнца Солнце, совершая видимое движение, за год описывает полный круг по звездному небу. Этот круг называется эклиптической.

В своем годовом движении по эклиптике Солнце проходит 12 созвездий, называемых зодиакальными. Путь Солнца относительно звезд — эклиптика — обычно дается на всех звездных картах.

Вследствие того, что ось вращения Земли имеет наклон к плоскости годового ее движения на  $66^{\circ}33'$ , плоскость земного экватора наклонена к той же плоскости на  $23^{\circ}27'$ , поэтому плоскость небесного экватора составляет с плоскостью эклиптики тоже  $23^{\circ}27'$  (рис. 20).

Эклиптика в двух точках пересекается с небесным экватором. Эти точки носят название:  $\gamma$  — точка весеннего равноденствия, здесь Солнце бывает 21 марта, этот день обозначает собой начало весны;  $\text{♎}^1$  — точка осеннего равноденствия, здесь Солнце бывает 23 сентября — начало осени.

<sup>1</sup>  $\text{♎}$  — знак созвездия Весов.

Когда Солнце находится в этих точках, его склонение равно нулю, а суточное вращение проходит по небесному экватору. В это время на всей Земле день равен ночи, граница света и тени проходит через оба географических полюса: 22 июня начало лета. В этот день Солнце занимает самое высокое положение над экватором, его склонение  $+23^{\circ}27'$ , эта точка на эклиптике называется точкой летнего солнцестояния; в это время в северном полушарии бывает самый длинный день и самая короткая ночь. 22 декабря — начало зимы. Солнце в это время занимает самое низкое положение относительно экватора, его склонение  $-23^{\circ}27'$ , эта точка эклиптики называется точкой зимнего солнцестояния. В это время у нас бывает самая длинная ночь и самый короткий день.

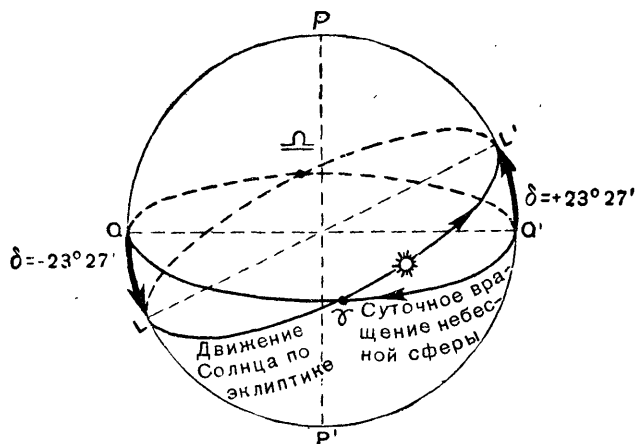


Рис. 20. Положение эклиптики относительно небесного экватора

Название «солнцестояние» произошло от того, что в течение нескольких дней, когда Солнце бывает в точках солнцестояний, его склонение, а значит, и высота изменяются очень медленно, в эти периоды Солнце как бы останавливается на одной и той же высоте.

Итак, Солнце в своем годовом движении по эклиптике, появившись 21 марта в точке весеннего равноденствия, двигаясь в направлении, обратном вращению небесной сферы, поднимается в северную полусферу и 22 июня достигает своей наибольшей высоты в точке летнего солнцестояния. После этого постепенно теряет высоту, 23 сентября проходит точку осеннего равноденствия и к 22 декабря снижается до точки зимнего солнцестояния, где его высота будет наименьшей, пройдя которую, снова поднимается к точке весеннего равноденствия, и т. д. Таким образом, путь Солнца, а следовательно, его склонение и высота изменяются в течение года в зависимости от положения Солнца на эклиптике.

Интересно отметить своеобразную картину положения Солнца на земном экваторе и на полюсах. На экваторе Солнце, как и все другие небесные светила, всегда восходит и заходит перпендикулярно истинному горизонту, поэтому там круглый год день равен ночи.

На Северном полюсе Солнце медленно, в течение нескольких суток, показывается над горизонтом около 21 марта и, не заходя, движется все время по спирали, медленно поднимаясь вверх.

22 июня его высота над горизонтом достигает наибольшего значения  $23^{\circ}27'$ . После этого, обходя небосвод по спирали вниз, оно также медленно опускается, 23 сентября скрывается за горизонтом и больше не показывается до следующего 21 марта. Таким образом, на полюсе бывает в год только один восход и один заход Солнца. Там полгода бывает день и полгода ночь, точнее день продолжается 189 суток, а ночь 176 суток.

День на полюсе больше ночи потому, что светлое время фактически начинается не с истинного восхода Солнца, когда над горизонтом появляется центр его диска, а с видимого восхода Солнца, когда над горизонтом появляется только его верхний край. Кроме того, благодаря атмосферной рефракции света (объяснение рефракции см. в «Поправках за рефракцию»), Солнце становится видимым, когда оно находится несколько ниже горизонта.

На Южном полюсе наблюдаются те же явления, что и на Северном, только там полярный день тянется с 23 сентября по 21 марта, а ночь с 21 марта по 23 сентября.

### Бортовая карта звездного неба

Вид неба меняется в зависимости от времени суток, времени года, а также от географической широты места наблюдателя на Земле.

В полете, чтобы иметь изображение звездного неба на карте для данного момента времени и данной широты места и чтобы правильно ориентироваться относительно горизонта, необходима бортовая карта звездного неба, сокращенно называемая БКН (рис. 21).

БКН представляет собой вращающийся картонный круг, на котором спроектировано звездное небо. В центре вращения находится полюс мира.

На БКН нанесены звезды до четвертой величины.

Прямые линии, идущие от полюса мира, обозначают круги склонений, соответствующие прямым восхождениям  $0-180^{\circ}$  и  $90-270^{\circ}$ . Окружность на карте представляет собой небесный экватор, видимые границы карты — истинный горизонт.

Вращением карты на дугообразном вырезе на ее основании по нанесенным делениям можно установить заданный момент местного времени, и тогда в овальном вырезе основания будет изображена видимая небесная сфера, ориентированная по странам света, с зенитом наблюдателя в центре овала (на рис. 21 карта установлена на 24 ч. 00 м. 22 февраля, 20 ч. 50 м. 10 апреля и т. п.).

Видимость неба в зависимости от широты места предусмотрена БКН для различных интервалов широт.

Имеются три типа карт:

БКН-I для северных широт от 30 до 44°;

БКН-II для северных широт от 46 до 60°;

БКН-III для северных широт от 62 до 76°.

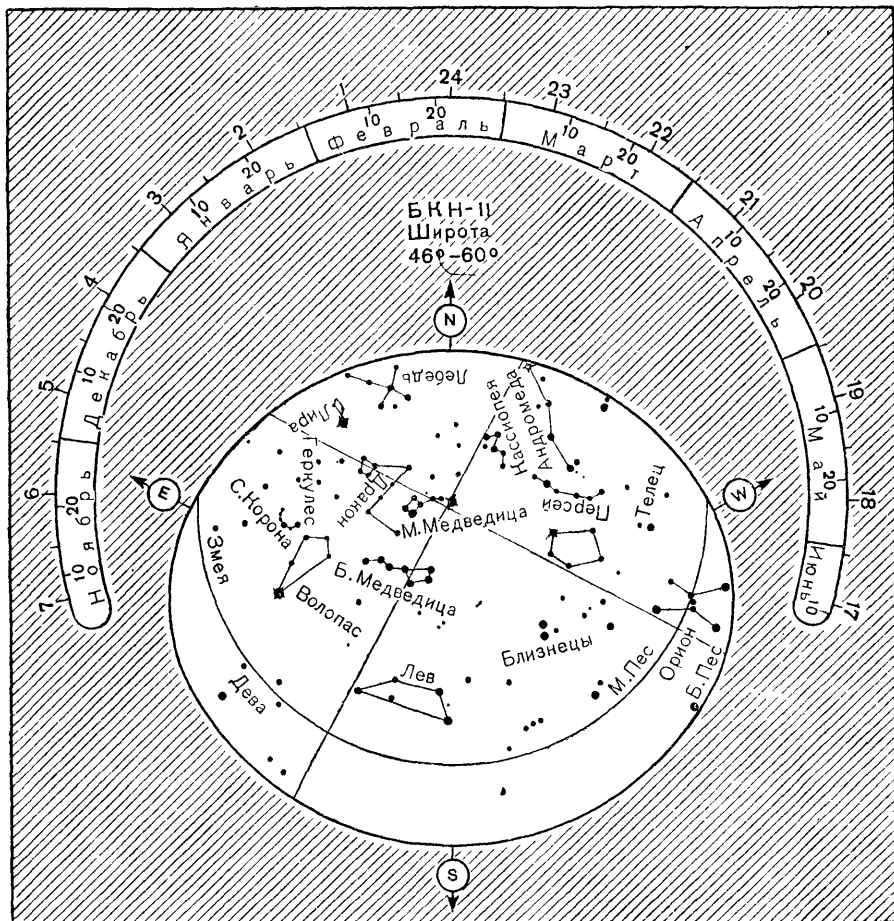


Рис. 21. Бортовая карта неба

Эти карты в основном отличаются одна от другой только формой выреза овала (видимой частью горизонта).

При сличении карты со звездным небом ее следует держать примерно вертикально перед собой, ориентируя обозначения стран света на карте соответственно их фактическим направлениям.



Бортовая карта неба служит для изучения звездного неба и для приближенного решения различных задач авиационной астрономии. Она позволяет:

1. Определять положение звезд и планет в заданный момент времени. Для этого нужно установить карту на заданный момент местного времени, в овальном вырезе будет видно расположение звезд на небе соответственно установленному времени и, следовательно, заранее, еще до полета, можно наметить, какие звезды могут быть наиболее удобно использованы в полете. Планет на БКН нет. Для определения их положения на небе обычно перед полетом их наносят на карту по координатам, взятым из ежегодника.

2. Определять горизонтальные и экваториальные координаты светил. Для определения экваториальных координат надо установить карту на заданный момент времени и отсчитать: часовой угол по дуге небесного экватора от южной части меридиана до круга склонения светила, т. е. до прямой, проходящей через полюс мира и светило; склонение — по кругу склонения, от небесного экватора до светила.

Для определения горизонтальных координат надо обозначить зенит в центре овала. Линия горизонта на БКН обозначается овальным вырезом. Положение светила между линией горизонта и зенитом будет характеризовать высоту светила, а величину азимута можно отсчитать на овальном вырезе от точки севера в восточном направлении до прямой, соединяющей светило с зенитом.

3. Определять моменты восхода и захода светил. Для этого вращением карты изображение интересующего светила устанавливается под обрез овала в восточной части, если нужно определить восход светила, или в западной части, если нужно определить заход светила. На дугообразном вырезе против заданной даты можно прочесть момент восхода (или захода) светила по местному времени.

4. Определять моменты кульминации светил. Для этого вращением карты изображение светила устанавливается на небесный меридиан по линии  $N-S$  между полюсом и точкой юга, если нужно определить верхнюю кульминацию, или между полюсом и точкой севера, если нужно определить нижнюю кульминацию. На дугообразном вырезе против заданной даты можно прочесть момент кульминации по местному времени.

---

## 2. ВРЕМЯ

Каждое явление, действие, событие происходит на протяжении какого-то времени — одно раньше, другое позже.

Мало сказать, что человек хорошо выполнил такую-то работу, надо еще сказать, когда и в течение какого времени он ее выполнил. Недостаточно сказать, что Солнце взойдет, надо еще сказать, когда именно, т. е. в какое время оно взойдет.

В работе авиации — в полетах — требования к выполнению заданных и расчетных моментов или отрезков времени особенно строги. Если, например, для встречи самолетов в воздухе над каким-то пунктом назначено время и один из самолетов не прибыл в назначенное время, а, допустим, опоздал на 2 минуты, то за это время другие самолеты могут уже улететь от пункта встречи на 15—20 км, а то и более, в зависимости от скорости полета. Поэтому время является одним из важнейших навигационных элементов в самолетовождении, и его расчет и учет в полете — первейшая задача экипажа.

### Измерение времени

Вращение земного шара вокруг своей оси является основным источником измерения времени. Вращение Земли вокруг своей оси совершается непрерывно и равномерно. Сутки — период полного оборота Земли вокруг своей оси — являются основной мерой времени, которая делится на более мелкие отрезки: часы, минуты, секунды. Вращение Земли удобно отмечать по звездам, не меняющим своего положения на небесной сфере. Но мы живем и работаем по Солнцу. Основная часть нашего труда протекает в дневные часы, а ночь служит для отдыха. Вся жизнь и людей, и природы согласована со сменой дня и ночи, т. е. с Солнцем, а не со звездами. Солнце же, из-за обращения Земли вокруг него, само как бы перемещается по звездному небу, поэтому измерение и расчет времени по Солнцу усложняются. В результате этого появилось несколько систем измерения и счисления времени, причем в авиационной астрономии все они находят широкое применение.

**Звездное время.** Само название говорит о том, что это время определяется суточным вращением Земли относительно звездного неба. Промежутки времени между двумя последовательными

одинаковыми кульминациями какой-либо звезды или любой неподвижной точки на небесной сфере и будет равняться времени полного оборота Земли вокруг своей оси, т. е. звездным суткам. Для определения начала и конца звездных суток принято брать не какую-то звезду, а неподвижную воображаемую точку на небесной сфере — точку весеннего равноденствия.

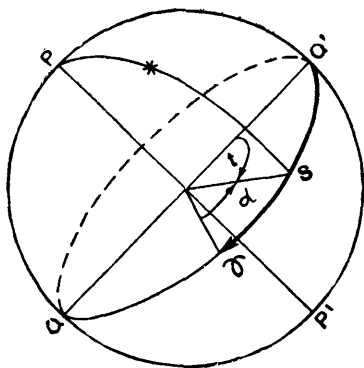


Рис. 22. Соотношение звездного времени с часовым углом и прямым восхождением звезды

Итак, звездными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия. Очевидно, что время этих суток будет измеряться часовым углом точки весеннего равноденствия, начиная от верхней ее кульминации, т. е. когда часовой угол равен нулю. Но точка весеннего равноденствия — воображаемая точка, ее не видно на небе, она не может быть наблюдаема и измеряема. Поэтому практически для определения звездного времени измеряют положение какой-либо звезды в кульминации и по ней определяют время. В момент верхней кульминации звезды ее часовой угол равен нулю. В дальнейшем своем суточном движении она будет отходить от небесного меридиана к западу.

Из рис. 22 видно, что в любой момент времени звездное время  $S$  будет равно сумме часового угла звезды  $t$  и ее прямого восхождения  $\alpha$

$$S = t + \alpha.$$

В момент верхней кульминации звезды, когда ее часовой угол равен нулю, формула упрощается:  $S = \alpha$ .

Это очень важное соотношение звездного времени с часовым углом и прямым восхождением любой звезды, оно широко используется в авиационной астрономии.

По этому соотношению в любой момент, зная прямое восхождение звезды и измерив ее часовой угол, можно получить звездное время или, наоборот, зная прямое восхождение и звездное время, определить ее часовой угол, а это нам необходимо знать при использовании звезд в целях самолетовождения.

Единицы звездного времени: сутки, часы, минуты и секунды, не равны обычно принятым суткам, часам и т. д., определяемым по Солнцу, а короче их.

Вспомним, что Солнце само передвигается по эклиптике в направлении, обратном вращению небесной сферы, поэтому относительно Солнца Земля за солнечные сутки, вращаясь вокруг своей оси, сделает оборот несколько больше чем  $360^\circ$ , примерно на  $1^\circ$  в сутки. Поэтому звездные сутки короче солнечных примерно на 4 минуты, точнее на 3 м. 56 с.

**Истинное солнечное время.** Здесь время определяется аналогично звездному, но для определения времени берется прохождение Солнца через небесный меридиан. Истинными солнечными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра Солнца. Следовательно, за начало истинных солнечных суток принимается полдень, когда Солнце находится в самой высокой точке над горизонтом.

Неудобством истинного солнечного времени является то, что основная единица этого времени — сутки, — в отличие от звездных суток, непостоянна.

Причинами непостоянства истинных солнечных суток является неравномерность движения Солнца по эклиптике и наклон эклиптики относительно небесного экватора, в результате чего истинные сутки бывают то короче, то длиннее.

Самые длинные истинные сутки бывают в декабре, они длиннее самых коротких сентябрьских суток на 51 секунду. Соответственно изменению суток уменьшаются или укорачиваются часы, минуты и секунды; и если бы мы захотели жить строго по истинному Солнцу, нам бы пришлось почти ежедневно заново регулировать часы, чего не смог бы выполнить даже самый искусный мастер. Много лет назад парижские часовщики так и писали в своих рекламах: «Солнце показывает время обманчиво».

Естественно, что таким временем пользоваться в обыденной жизни неудобно, хотя в авиационной астрономии оно находит применение. Наблюдая Солнце, мы рассчитываем его часовой угол, который, собственно, определяет истинное солнечное время.

**Среднее солнечное и гражданское время.** Желание пользоваться солнечным временем, но таким, единицы измерения которого были бы постоянны, привело к тому, что придумали так называемое среднее солнце, а отсюда и среднее солнечное время.

Под средним солнцем понимают воображаемую, на самом деле несуществующую точку, вроде точки весеннего равноденствия. Среднее солнце совершает годичный оборот по звездному небу, в том же направлении и во столько же времени, как и истинное Солнце, но движется по небесному экватору все время равномерно. Движение этой точки — среднего солнца — на небесной сфере как бы осредняет движение истинного Солнца и делает суточные промежутки времени одинаковыми. По среднему солнцу и регулируются все часы.

Средними солнечными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями среднего солнца. Продолжительность средних солнечных суток постоянна. Очевидно, что среднее солнце может проходить небесный меридиан то позже, то раньше истинного Солнца, поэтому и среднее время бывает то позади, то впереди истинного.

Для определения среднего времени сначала приходится определять истинное солнечное время, по наблюдению Солнца, а потом переводить его в среднее. Но для этого надо знать разность между этими временами на каждый день. Эта разность между истинным

и средним временами для перехода от одного времени к другому дается в **уравнении времени** (рис. 23).

Уравнение времени — это поправка, которую надо прибавить к истинному времени, чтобы получить среднее время.

Уравнение времени четыре раза в год бывает равно нулю: 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря, в эти дни среднее солнечное время совпадает с истинным. В остальное время поправка бывает или положительной, когда среднее время впереди истинного, или отрицательной, когда среднее время отстает от истинного.

Наибольшее положительное значение уравнение времени достигает 11 февраля ( $+14\frac{1}{2}$  минуты), наибольшее отрицательное зна-

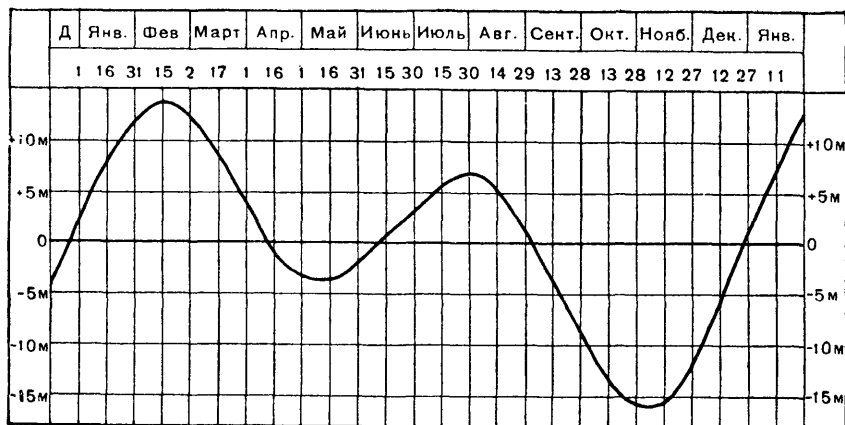


Рис. 23. График уравнения времени

чение — 2 ноября ( $-16\frac{1}{3}$  минуты). Столь значительная разница бывает потому, что малая разница во времени между истинными и средними сутками, выражаемая только секундами, постоянно накапливается и по истечении месяцев выражается уже минутами.

Среднее время измеряется от верхней кульминации среднего солнца, т. е. от среднего полдня. Для практической жизни неудобно начало суток считать с полдня, поэтому условились за начало средних суток считать момент нижней кульминации среднего солнца, т. е. среднюю полночь. Среднее солнечное время, отсчитываемое от средней полуночи, называется гражданским временем. Очевидно, что это время отличается от среднего времени ровно на 12 часов.

**Местное, поясное и декретное время.** Измерение времени по небесным светилам тесно связано с тем местом на Земле, откуда производится это измерение. Действительно, начало любых суток и звездных, и истинных солнечных, и средних солнечных, и гражданских производится от кульминации светил или каких-то то-

чек на небесной сфере. Но вследствие суточного вращения Земли кульминация одного и того же светила для мест на Земле с различной долготой будет происходить в разное время. Для наблюдателя, находящегося восточнее пункта кульминации, и восход и заход любого светила будут наблюдаться раньше, чем над этим пунктом; следовательно, и сутки у этого наблюдателя будут начинаться раньше.

Поэтому все эти виды времени: звездное, истинное солнечное, среднее и гражданское, являются местным временем, так как каждое из них относится к какому-то определенному месту на Земле.

Обычно же под местным временем понимают гражданское время, отсчитываемое от момента нижней кульминации среднего солнца.

Земля делает полный оборот на  $360^\circ$  в 24 часа, значит, если наблюдатель будет отстоять на восток от какого-то пункта на  $15^\circ$  по долготе, что составит  $\frac{1}{24}$  часть полного оборота, то и момент кульминации Солнца для него наступит раньше на  $\frac{1}{24}$  часть суток, т. е. на один час.

Можно долготу места выразить не в градусах, а во времени, считая, что  $360^\circ = 24$  часам, из этого получим соотношение:

$$\begin{aligned} 1 \text{ час} &= 15^\circ, & 1^\circ &= 4 \text{ минутам,} \\ 1 \text{ минута} &= 15', & 1' &= 4 \text{ секундам.} \\ 1 \text{ секунда} &= 15'', \end{aligned}$$

Можно также из соотношения местного времени и долготы места установить взаимосвязь для двух любых мест на Земле. Разность местного времени для двух пунктов равна разности их долгот, выраженной во времени

$$T_{m_2} - T_{m_1} = \lambda_2 - \lambda_1,$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — долгота пунктов, а  $T_{m_1}$  и  $T_{m_2}$  — соответствующее им местное время.

По этой формуле мы можем определить долготу одного места, зная долготу другого, путем сравнения их местного времени или по разности долгот между двумя пунктами, зная местное время в одном из них, определить местное время в другом. За начало счета долгот принят Гринвичский меридиан, считаваемый нулевым. Если, например, нужно определить разность местных времен в Москве и Гринвиче, то, зная долготу Москвы, легко это можно сделать.

Долгота Москвы равна  $+37^\circ 38'$ , так как долгота Гринвича равна  $0^\circ$ , то разность долгот  $\lambda_2 - \lambda_1$  равна также  $37^\circ 38'$ , что при переводе на время дает 2 ч. 30 м. 32 с. Москва — восточнее Гринвича, поэтому местное время Москвы всегда позади Гринвичского на 2 ч. 30 м. 32 с.

Совершенно очевидно, что в практической жизни местным временем пользоваться неудобно. Если бы мы жили по местному времени и хотели бы, чтобы наши часы всегда показывали правиль-

ное время, то при передвижении из одного места в другое мы должны были бы непрерывно переводить стрелки часов, согласуясь с местным временем каждого пункта. Даже в одном населенном пункте, на улицах с различными географическими долготами местное время разное.

До 1919 г. граждане нашей страны жили по местному времени. Каждый город жил по своему «осредненному» местному времени. Единое время по всей стране было только на железной дороге, которое было установлено по петроградскому времени.

Обычно так и различали «городское» и «вокзальное» время. Это оказалось неудобным для практического общения людей, живущих в различных населенных пунктах, особенно для мест, значительно удаленных от Петрограда.

С 1 июня 1919 г. в СССР введено так называемое поясное время, установленное по международному соглашению. Оно состоит в том, что весь земной шар условно разделен на 24 пояса меридианами, отстоящими один от другого на  $15^\circ$ .

Пояса пронумерованы с запада на восток в следующем порядке: нулевой пояс, потом 1-й, 2-й, 3-й и т. д. до 23-го пояса включительно. Серединой начального, нулевого, пояса является нулевой (Гринвичский) меридиан; серединой 1-го пояса — меридиан с восточной долготой, равной  $15^\circ$ ; серединой 2-го пояса — меридиан с восточной долготой, равной  $30^\circ$ , и т. д. через каждые  $15^\circ$  (рис. 24).

В каждом часовом поясе установлено единое время, называемое поясным. За единое время в часовом поясе берется местное время среднего меридиана данного пояса и ввиду того, что удаление даже крайних точек пояса от среднего меридиана не превышает  $7,5^\circ$  по долготе, то и разность между поясным и местным временем не превышает 30 минут. Исключение составляют пункты, более удаленные от среднего меридиана за счет искривления границы пояса. Дело в том, что в населенных областях границы между часовыми поясами проведены не строго по разграничительным меридианам, а с учетом административного деления.

Такое искривление границ часовых поясов гораздо удобнее для практической жизни, так как при этом устанавливается единое время в каждой административной области. В противном случае, если бы везде при определении границы поясов строго придерживались разграничительных меридианов, в некоторых областях пришлось бы устанавливать два времени, даже некоторые города попали бы на разграничительный меридиан.

Например, Москва лежит между 2-м и 3-м поясами, так что пришлось бы для нее ввести два времени: одно для западной окраины города, другое для центральных и восточных районов, что, конечно, крайне неудобно.

Определяя границы пояса соответственно с административным делением, не только Москву, но и всю Московскую область отнесли ко 2-му часовому поясу. Поэтому в некоторых местах, например





в восточной части Московской области, разница между местным и поясным временем несколько больше полчаса.

Долгота Москвы равна  $37^{\circ}38'$ , а средний меридиан 2-го пояса равен  $30^{\circ}$ , т. е. удаление Москвы от среднего меридиана пояса равно  $7^{\circ}38'$ , что в переводе на время составляет 30 м. 32 с. Поэтому поясное время отстает от местного в Москве на 30 м. 32 с.

Разница между средними меридианами соседних часовых поясов составляет  $15^{\circ}$ , поэтому разница во времени соседних поясов равна одному часу.

Солнце движется с востока на запад, поэтому все астрономические явления: восход, кульминация, заход — на востоке будут происходить раньше, чем на западе, а значит, и время каждого часового пояса будет на один час больше соседнего с запада и на один час меньше соседнего с востока.

Если, например, в нулевом поясе 0 часов (24 часа), то в это же время в 1-м поясе 1 час, во 2-м 2 часа, в 3-м 3 часа и т. д. Таким образом, номер пояса сразу показывает, на сколько часов время этого пояса впереди гринвичского, а разность номеров часовых поясов показывает и разность поясных времен в этих поясах:

$$N_2 - N_1 = T_{п_2} - T_{п_1},$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — номера часовых поясов, а  $T_{п_1}$  и  $T_{п_2}$  — поясное время в этих поясах.

Например, Свердловск находится в 4-м поясе, а Красноярск — в 6-м. Разность часовых поясов равна 2. Значит, и разность в поясном времени равна 2 часам, при этом у красноярцев часы показывают на 2 часа вперед, чем у свердловчан, так как Красноярск восточнее Свердловска. При переезде из одного часового пояса в другой, при желании иметь время такое же, как и у местных граждан, необходимо часовую стрелку часов перевести на разность номеров часовых поясов. Минуты и секунды во всех поясах одни и те же.

По поясному времени живут почти все страны мира. Так, например, Англия, Франция, Бельгия, Голландия, Испания, Португалия живут по нулевому часовому поясу, т. е. по гринвичскому времени. Это время еще называют западноевропейским, или всемирным. Германия, Австрия, Польша, Норвегия живут по времени 1-го пояса. Это время еще называют среднеевропейским. В нашей стране обычно часовые пояса именуют или названием крупных городов, или крупных рек, находящихся в этих часовых поясах.

В СССР благодаря огромной протяженности по широте проходит 11 часовых поясов, со 2-го по 12-й включительно. Значит, максимальная разность во времени в нашей стране составляет 10 часов. Если, например, в Москве 9 часов утра, то в это же время на Чукотке уже 7 часов вечера.

В некоторых, правда очень немногих, странах и до настоящего времени не принято поясное время. Например, Иран и Гвiana живут по местному времени. В некоторых странах, например

в Индии, Венесуэле. принятое время отличается от поясного времени ближайшего пояса ровно на полчаса.

Декретом Совнаркома СССР 16 июня 1930 г. все часы в нашей стране переведены на один час вперед. Такое сдвинутое на один час вперед время называется **декретным временем**. Цель этого мероприятия состоит в том, чтобы население с весны до осени более полно использовало солнечный свет и таким образом снижался бы расход топлива и электроэнергии на искусственное освещение. Если считать, например, что рабочие и служащие встают утром в 7 часов и ложатся спать в 24 часа, то при этом в летнее время вечером искусственное освещение понадобится в среднем примерно с 21 часа, т. е. на 3 часа. Утром искусственное освещение не понадобится, так как рассвет начинается гораздо раньше 7 часов. Введением декретного часа, когда все часы стали идти вперед на 1 час, трудовой день стал начинаться и кончаться на 1 час раньше. Утром это по-прежнему не требует искусственного освещения, зато вечером при окончании рабочего дня на 1 час раньше требуется меньше искусственного освещения на 1 час.

Зимой же, ввиду начала и конца работы в темное время суток, декретный час не дает ни выигрыша ни проигрыша в расходе топлива и электроэнергии.

В настоящее время все часы в нашей стране идут по декретному времени. По этому времени теперь население 2-го часового пояса живет по времени 3-го пояса и его разница с гринвичским составляет 3 часа, в 3-м поясе живут по 4-му, в 4-м по 5-му и т. д.

Поясное время отличалось от местного тем, что в восточной части пояса время отставало, а в западной опережало местное, теперь же во всем часовом поясе декретное время идет впереди местного. Поясное время в Москве отставало от местного на 30 м. 22 с. Легко сообразить, что теперь декретное время в Москве идет впереди местного на 29 м. 28 с. и, следовательно, полдень для москвичей по их часам будет около 12 ч. 30 м.

Для перевода местного времени в поясное декретное время и наоборот пользуются следующей формулой:

$$T_{\text{м}} = T + \lambda - N,$$

где  $T_{\text{м}}$  — местное время;

$T$  — поясное декретное время;

$\lambda$  — долгота места;

$N$  — номер часового пояса с учетом декретного часа.

### Расчет времени для различных пунктов земного шара

Мы говорили, что когда на Чукотке 7 часов вечера, в Москве только еще 9 часов утра, когда у нас полдень — на противоположной стороне земного шара полночь. Когда жители Чукотки утром просыпаются и собираются завтракать, в это же время москвичи еще ужинают в тот день, который для дальневосточников прошел

вчера. Получается, что в одно и то же время в различных точках земного шара могут быть разные даты.

Где же начинается новая дата?

Из истории известно немало фактов, когда люди попадали в смешное положение из-за того, что со счетом дней попадали «впросак».

Такая ошибка, например, произошла с первой кругосветной экспедицией Магеллана. В 1522 г., вернувшись из плавания в Испанию, участники экспедиции узнали, что они вернулись в пятницу, тогда как по их расчетам был только четверг. Они тщательно проверили свои записи в корабельном журнале — ошибки не было, по их данным день прибытия был четвергом. Тем не менее участники экспедиции допустили ошибку в расчете: двигаясь в направлении с востока на запад, т. е. навстречу суточному вращению Земли, они сделали вокруг земной оси на один оборот меньше, чем те, кто был на месте, и поэтому обязаны были прибавить к своим расчетам одни сутки. За совершение «религиозного преступления», заключавшегося в том, что религиозные праздники в экспедиции отмечались не в положенные дни, ее участники вынуждены были принести публичное покаяние.

Видимое движение Солнца происходит непрерывно с востока на запад, отчего и происходит на земном шаре непрерывная смена времени суток. Очевидно, если корабль или самолет будет огибать земной шар, двигаясь в направлении с запада на восток, т. е. в том же направлении, в каком вращается Земля, то он сделает вокруг земной оси один лишний оборот, поэтому экипаж должен в своих расчетах сбросить одни сутки. Чтобы избежать ошибок в счете суток и установить место начала и конца суток, по международному соглашению установлена линия смены дат. Эта линия в основном проходит по долготе  $180^\circ$  от Гринвича, нигде не касаясь суши, за исключением необитаемого Антарктического материка. Она идет от Северного полюса через Берингов пролив, далее по Тихому океану, обходя многочисленные мелкие тихоокеанские острова, и заканчивается на Южном полюсе.

На западной стороне линии смены дат каждый раз начинается новое календарное число, новый месяц, новый год.

Самыми первыми встречают новый день, как и новый год, граждане нашей страны — жители Чукотки, потом жители Камчатки, Магадана вместе с жителями восточной части Австралии, за ними японцы, хабаровцы, затем читинцы вместе с населением восточного Китая, прибайкальцы и т. д. Позже всех наступает новый день и новый год для жителей Аляски. При пересечении линии смены дат с востока на запад надо один день пропускать в счете, а при пересечении с запада на восток один и тот же день считать два раза. Если, например, самолет перелетел линию смены дат 15 мая из Аляски в Чукотку, то следующая дата у него будет не 16 мая, а сразу 17 мая, а если он в то же число 15 мая перелетел из Чукотки в Аляску, то следующая дата у него снова будет 15 мая. Особое положение занимают географические полюса Земли.

На полюсах все меридианы и часовые пояса сходятся. Там во все стороны только одно направление: или южное или северное. Северный полюс, например, всюду окружен югом. Если бы на нем построить дом, то все четыре стороны его были бы обращены на юг. Исследователь, находясь у одного из полюсов, может переходить из одного пояса в другой или через линию смены дат по нескольку раз в день, поэтому общеустановленные правила перевода часов и календарь для него неприемлемы. Но жить по какому-то времени ему надо. Надо в какие-то сроки ложиться спать, вставать, есть, начинать и кончать работу. Поэтому для решения этого вопроса надо просто установить какое-то любое условное время. Удобнее всего гринвичское время, так как именно для этого времени вычисляются все астрономические таблицы и ежегодники.

Определение времени в одном пункте по известному времени другого пункта легко выполняется внутри территории нашей страны, но значительно усложняется при расчете времени для пунктов заграничных. Например, для пунктов, расположенных в СССР, мы просто берем разность часовых поясов, это и будет разность в часах времени этих поясов.

Но для расчета времени заграничных пунктов мы должны еще учесть свой декретный час и определить, переходим ли мы в расчете через линию смены дат, и если переходим, то в каком направлении: с востока на запад, или с запада на восток. Например, зная время в Москве, мы хотим определить, сколько времени в данный момент в Фербенксе (Аляска). Москва во 2-м часовом поясе, Фербенкс — в 14-м. Как определить в расчете, переходим ли мы линию смены дат? Этот расчет можно произвести по формулам, но проще всего переход от времени одного пункта ко времени любого другого в общем случае производить по нижеприведенной таблице, где за основу взято московское время.

Все остальные часовые пояса имеют свою поправку относительно московского (декретного) времени.

Таблица 1

№ пояса	Наименование времени	Поправка относительно московского времени в часах
0-й	Поясное гринвичское (западноевропейское, всемирное) . . . . .	— 3
1-й	Поясное средневропейское (центральноевропейское) . . . . .	— 2
2-й	Поясное декретное московское . . . . .	0
3-й	„ „ волжское . . . . .	+ 1
4-й	„ „ уральское (свердловское) . . . . .	+ 2
5-й	„ „ западносибирское (омское) . . . . .	+ 3
6-й	„ „ енисейское (красноярское) . . . . .	+ 4
7-й	„ „ иркутское . . . . .	+ 5
8-й	„ „ амурское (читинское) . . . . .	+ 6
9-й	„ „ приморское (хабаровское) . . . . .	+ 7
10-й	„ „ охотское (магаданское) . . . . .	+ 8

№ пояса	Наименование времени	Поправка относительно московского времени в часах
11-й	Поясное декретное камчатское . . . . .	+ 9
12-й	" " " чукотское (анадырское) . .	+10
13-й	Поясное . . . . .	-14
14-й	" фербенкское . . . . .	-13
15-й	" юконское . . . . .	-12
16-й	" тихоокеанское . . . . .	-11
17-й	" горное . . . . .	-10
18-й	" центральное . . . . .	- 9
19-й	" восточное (вашингтонское) . . . . .	- 8
20-й	" атлантическое . . . . .	- 7
21-й	" . . . . .	- 6
22-й	" . . . . .	- 5
23-й	" исландское . . . . .	- 4

По этой таблице для определения времени какого-либо пункта по известному московскому времени надо по карте часовых поясов найти номер пояса, в котором находится интересующий пункт. По номеру пояса в таблице найти поправку и сложить ее с московским временем. Это и будет искомое время. Например, определить поясное время в г. Лондоне, когда московское время равно 7 часам. Лондон находится в 0-м поясе, поправка из таблиц равна — 3 часам.

Время в Лондоне равно  $7 + (-3) = 4$  часам.

Для определения московского времени по известному времени какого-либо пояса необходимо поправку, взятую из таблицы для этого пояса, вычесть из известного поясного времени.

**Пример 1.** Определить московское время, когда камчатское время равно 16 часам. В таблице для камчатского времени поправка равна +9 часам.

Московское время равно  $16 - (+9) = 7$  часам.

**Пример 2.** Вашингтонское время равно 5 часам, какое время в Москве?

Поправка для вашингтонского времени равна — 8 часам, значит, московское время равно  $5 - (-8) = 13$  часам.

Для определения времени какого-либо пояса по известному времени другого пояса надо разность поправок (известного и искомого поясов) вычесть из известного поясного времени.

**Пример 1.** На Чукотке 8 часов. Сколько времени в Хабаровске?

Разность поправок равна  $10 - 7 = 3$  часам, значит, время в Хабаровске равно  $8 - 3 = 5$  часам.

**Пример 2.** В Париже 2 часа. Сколько времени в Красноярске?

Разность поправок равна  $-3 - (+4) = -7$  часам, значит, время в Красноярске равно  $2 - (-7) = 9$  часам.

Если при расчетах итоговый результат окажется больше 24 часов, надо из него вычесть 24 часа и дату передвинуть на один день вперед, а если окажется отрицательным числом, то дату передвинуть

нуть на один день назад, а время определить, как дополнение этого отрицательного числа до 24.

**Пример 1.** Определить время в Иркутске, если в Москве 22 часа 25 сентября.

В таблице для Иркутского пояса поправка  $+5$  часов. Следовательно, иркутское время  $22+5=27$  часов или  $27-24=3$  часа 26 сентября.

**Пример 2.** Определить московское время, если в г. Омске 2 часа 15 апреля.

Поправка для омского времени  $+3$  часа.

Московское время равно  $2-(+3)=-1$  час, или  $24-1=23$  часа 14 апреля.

Ввиду того, что на часовые пояса, проходящие через СССР (от 2-го до 12-го), мы в таблице учли декретный час, а в других странах, пользующихся этими же поясами, декретного часа не существует, поэтому при расчетах, если номер часового пояса пункта иностранного государства находится в пределах от 2 до 12, поправку к нему уменьшать на единицу. Например, Токио находится в 9-м поясе, поправку брать не  $+7$  часов, как значится в таблице, а  $+6$ .

В некоторых странах Западной и Центральной Европы, а также в США распоряжениями своих правительств летом, примерно с апреля по сентябрь время переводится на один час вперед и в этом случае именуется **летним временем**, которое необходимо также учитывать при расчетах, прибавляя к поправке часового пояса этой страны один час. Предусмотреть в таблице это нельзя, так как в разных странах летнее время определяется на различные периоды.

По табл. 1 мы можем определить, что в других местах земного шара время будет отличаться от московского на величину, указанную в табл. 2.

Т а б л и ц а . 2

В Куйбышеве, Краснодаре, Тбилиси . . .	Время на 1 час больше московского
В Свердловске, Челябинске, Ашхабаде . . . . .	Время на 2 часа больше московского
В Омске, Ташкенте, Алма-Ата . . .	Время на 3 часа больше московского
В Новосибирске, Красноярске . . .	Время на 4 часа больше московского
В Иркутске . . . . .	Время на 5 часов больше московского
В Чите . . . . .	Время на 6 часов больше московского
В Хабаровске . . . . .	Время на 7 часов больше московского
В Магадане . . . . .	Время на 8 часов больше московского
На Камчатке . . . . .	Время на 9 часов больше московского
На Чукотке . . . . .	Время на 10 часов больше московского

В Токио, Сеуле . . . . .	Время на 6 часов больше московского
В Сиднее . . . . .	Время на 7 часов больше московского
В Анкаре, Каире . . . . .	Время на 1 час меньше мо- сковского
В Берлине, Варшаве, Будапеште, Вене . . . . .	Время на 2 часа меньше мо- сковского
В Лондоне, Париже, Мадриде . . .	Время на 3 часа меньше мо- сковского
В Рио-де-Жанейро . . . . .	Время на 6 часов меньше мо- сковского
В Буэнос-Айресе . . . . .	Время на 7 часов меньше мо- сковского
В Вашингтоне, Нью-Йорке . . . .	Время на 8 часов меньше мо- сковского
В Чикаго . . . . .	Время на 9 часов меньше мо- сковского
В Фербенксе . . . . .	Время на 13 часов меньше московского

### Проверка времени

Одной из важнейших задач астрономических обсерваторий является проверка, хранение и передача по радио точного времени.

Для этого при больших обсерваториях создаются специальные службы времени. В СССР таких служб имеется три: при Государственном астрономическом институте им. Штернберга (в Москве), при Ташкентской и при Пулковской обсерваториях. Проверка времени в обсерваториях осуществляется измерением специальными приборами прохождения звезд через небесный меридиан (кульминации звезд). Иначе говоря, измеряется и проверяется всегда звездное время, которое потом пересчитывается в различные солнечные времена: истинное, среднее, поясное, декретное, которые и хранятся на различных часах.

Весьма важно, чтобы и между измерениями всегда имелось точное время. Для этого в обсерваториях на особо точных часах организовано хранение точного времени. На постоянство хода часов сильно влияет изменение температуры, а также всякие механические сотрясения, поэтому наиболее точные астрономические часы, называемые хронометрами, помещают в специальные подземные хранилища — подвалы на глубине около 10 м, где почти не сказываются годовые и суточные изменения температуры. Показания этих часов путем электрической передачи выносятся в надземные помещения, чем исключаются постоянные посещения людьми такого подвала, а значит, исключаются и все внешние помехи на часы.

Передача точного времени по радио производится широкоэмитальными и специальными радиостанциями, дающими сигналы точного времени с точностью до 0,1 секунды и ритмические сигналы (с точностью до тысячных долей секунды). Характер и время передачи сигналов точного времени и ритмических сигналов объяв-

ляются в специальных бюллетенях. Они издаются на определенные периоды времени, чаще по полугодиям.

Для авиации в целом, включая и требования авиационной астрономии, вполне достаточно пользоваться только широкоэвещательными сигналами точного времени.

Все широкоэвещательные радиостанции дают сигналы по московскому (декретному) времени четыре раза в сутки: в 1 час, в 7 часов, в 12 часов, в 19 часов. Эти сигналы подаются следующим образом: за 1,5—2 минуты до сигнала точного времени включается хронометр и слышно его «тикание», которое служит предупреждением о том, что надо подготовиться к проверке часов. Непосредственно перед сигналом точного времени даются два длинных (предупредительных) сигнала и за ними один короткий сигнал, который является исполнительным сигналом точного времени, по нему и проверяется правильность показания часов.

По радиосигналам времени или сразу ставят стрелки своих часов на правильное время или чаще всего, для сохранения равномерности работы часового механизма, определяют поправку своих часов, т. е. замечают, на сколько минут и секунд они идут вперед или отстают от точного времени.

Разность между точным временем и временем, которое показывают свои часы, называется поправкой часов, которую надо прибавить к показанию часов, чтобы получить точное время.

Если обозначить поправку часов  $u$ , показание часов  $T'$  и правильное время  $T$ , то  $T = T' + u$ .

Поправка часов считается положительной и пишется со знаком плюс, если часы показывают меньше точного времени, и отрицательной, когда часы показывают больше точного времени.

Если, например, часы показывают 11 ч. 42 м. 45 с. и известна поправка часов, равная  $-1$  м. 38 с., то правильное время будет

$$T = T' + u = 11 \text{ ч. } 42 \text{ м. } 45 \text{ с.} + (-1 \text{ м. } 38 \text{ с.}) = 11 \text{ ч. } 41 \text{ м. } 7 \text{ с.}$$

Систематической проверкой времени, т. е. неоднократным определением поправки часов, и определяется их основное качество — постоянство хода часов. Часов, которые всегда ходили бы правильно, не бывает. Всякие часы, даже самые лучшие хронометры, из-за несовершенства механизма, изменения температуры, давления, влажности и т. д. или немного отстают, или спешат, значит, имеют какую-то поправку. Эта поправка бывает, как правило, непостоянной: в одни сутки она меньше, во вторые — больше. Величина изменения поправки за одни сутки называется суточным ходом часов.

По суточному ходу часов можно судить, на сколько времени часы отстают или уходят вперед за сутки.

Если поправка часов с течением времени растет, а это может быть, когда часы отстают, суточный ход считается положительным и обозначается знаком плюс. Если же поправка часов уменьшается, что может быть только в том случае, когда часы спешат, суточный ход считается отрицательным и обозначается знаком минус.



Суточный ход часов можно определить по отношению разности поправок к промежутку времени между моментами определения этих поправок, выраженному в сутках.

Обозначив суточный ход часов  $\omega$ , первый момент времени  $T_1$  и поправку при этом  $u_1$ , второй момент времени  $T_2$  и поправку при этом  $u_2$ , получим

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

**Пример.** Определить суточный ход часов по следующим данным:

$T_1 = 10$  октября 7 ч. 00 м. 00 с.;  $u_1 = +0$  м. 43 с.

$T_2 = 14$  октября 7 ч. 00 м. 00 с.;  $u_2 = +2$  м. 15 с.

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1} = \frac{2 \text{ м. } 15 \text{ с.} - 0 \text{ м. } 43 \text{ с.}}{14 - 10} = \frac{1 \text{ м. } 32 \text{ с.}}{4} = + 23 \text{ сек.}$$

$\omega = +23$  сек.— суточный ход положительный.

Разность моментов времени может быть выражена и не целым числом суток, а дробным. Например, первая проверка времени была 5 мая в 7 часов, а вторая 11 мая в 12 часов, тогда разность моментов  $T_2 - T_1 = 6,2$  суток.

Качество часов определяется постоянством суточного хода часов. Лучшими часами считаются те часы, у которых колебания суточного хода наименьшие.

Например, если часы за одни сутки ушли на 20 секунд вперед, за другие еще на 21, за третьи на 18, за четвертые на 19 секунд,— это хорошие часы, их суточный ход более или менее постоянный, равный примерно 20 секундам, отклонения от этого составляют величину только около 2 секунд.

Если же часы за одни сутки ушли на 10 секунд вперед, за другие на 20 секунд отстали, за третьи снова ушли вперед на 15 секунд,— это плохие часы, у них суточный ход непостоянный, он колеблется от  $+15$  до  $-20$  секунд, т. е. в пределах 35 секунд.

Для выверки часов, т. е. для определения суточного хода часов, надо в течение какого-то времени, например 5—7 дней, наблюдать за ними: сличать с правильным временем, определять поправку и их суточный ход. Запись при этом обычно ведется так, как дано в табл. 3.

Таблица 3

Дата	Момент проверки времени	Показание часов	Поправка	Суточный ход
1951 г. 17/VIII	7 ч. 00 м. 00 с.	7 ч. 00 м. 32 с.	— 32 сек.	
18 VIII	То же	7 ч. 00 м. 21 с.	— 21 "	+ 11 сек.
19/VIII	"	7 ч. 00 м. 08 с.	— 08 "	+ 13 "
20/VIII	"	6 ч. 59 м. 59 с.	+ 01 "	+ 9 "
21/VIII	"	6 ч. 59 м. 45 с.	+ 15 "	+ 14 "
22/VIII	"	6 ч. 59 м. 33 с.	+ 27 "	+ 12 "

После этого можно определить средний суточный ход часов как сумму всех полученных величин суточного хода, деленную на число суток, за которые проверялись часы. В нашем примере это будет:

$$\frac{+11 + 13 + 9 + 14 + 12}{5} = \frac{+59}{5} = +11,8 \text{ сек.}$$

Значит, в среднем часы ежедневно отстают на 12 секунд. Колебания суточного хода у данных часов были в пределах 5 секунд; это показывает, что часы хорошие.

Зная суточный ход часов и считая его для некоторого промежутка времени постоянным, можно определить поправку часов на какой-либо момент времени вперед по формуле

$$u_2 = u_1 + \omega (T_2 - T_1),$$

где  $T_2$  и  $T_1$  — промежуток времени между моментами определения поправок  $u_2$  и  $u_1$ , выраженный в сутках;

$u_1$  и  $u_2$  — поправки к часам в начальный и искомый моменты времени;

$\omega$  — суточный ход часов.

**Пример.** Перед полетом в  $T_1 = 7$  ч. 00 м. 00 с. поправка  $u_1 = +1$  м. 12 с. Суточный ход часов  $\omega = -27$  сек. Определить, какова будет поправка часов в  $T_2 = 15$  часов.

**Решение.**

$$u_2 = u_1 + \omega (T_2 - T_1) = 1 \text{ м. } 12 \text{ с.} + \left( -27 \text{ с.} \cdot \frac{15 \text{ ч.} - 7 \text{ ч.}}{24 \text{ ч.}} \right) = \\ 1 \text{ м. } 12 \text{ с.} - 9 \text{ с.} = 1 \text{ м. } 3 \text{ с.}$$

Значит, в 15 часов часы будут отставать на 1 м. 3 с.

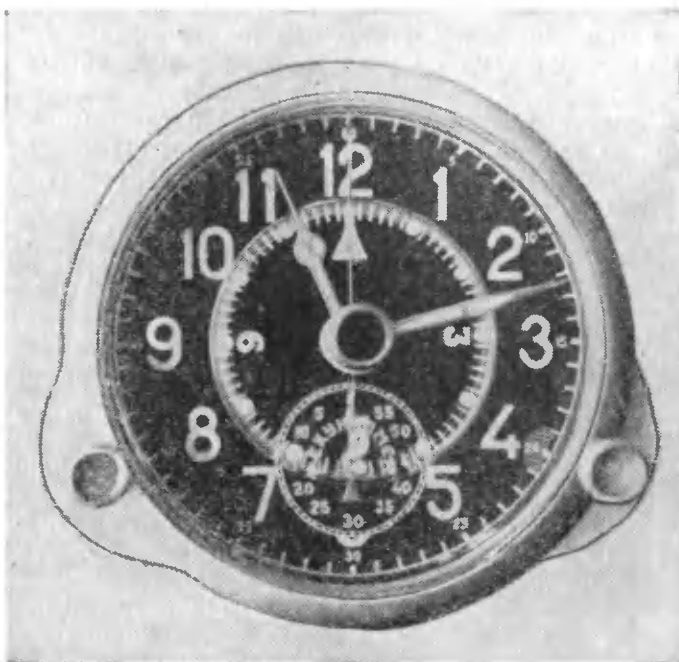
В авиации часы бывают самолетные — постоянно стоящие на борту самолета, и ручные — личные часы летного состава (рис. 25 и 26).

Во время полета лучшие часы считаются главными относительно других часов, и по ним определяется время расчета полета.

Для постоянного хранения правильного времени имеются сличительные часы, которые систематически выверяются по радиосигналам точного времени, и по ним сверяются все остальные самолетные и ручные часы.

При сличительных часах ведется журнал учета поправки часов по такой же форме, по которой выверяются часы, только, в отличие от остальных часов, для сличительных такой журнал ведется постоянно.

Сличительные часы переводятся на правильное время редко, когда поправка становится уже слишком значительной. В остальное же время просто записывается поправка. Поэтому для опреде-



**Рис. 25.** Самолетные штурманские часы



**Рис. 26.** Ручные штурманские часы

ления правильного времени надо отсчитать показание часов и прибавить к ним их поправку. Перед полетом все часы проверяются: или устанавливаются на правильное время, или замечается поправка.

Для применения астрономических средств самолетовождения в полете момент времени определяется с точностью до 5 секунд, большая ошибка во времени дает уже значительную ошибку в определении своего местонахождения. Поэтому желательно, чтобы и колебания суточного хода часов, применяемых для астрономических наблюдений в полете были в пределах 5—6 секунд.

### Таблицы и графики Солнца, таблицы Луны

Определение моментов естественного освещения в авиации имеет весьма большое значение, так как от этого зависят условия дневных или ночных полетов.

Светлое время суток начинается раньше восхода Солнца и продолжается еще некоторое время после захода Солнца.

Это объясняется тем, что Солнце, находясь под горизонтом некоторое время до восхода и после захода, освещает земную поверхность своими отраженными в атмосфере лучами.

В авиации наступлением рассвета принято считать момент, когда Солнце, точнее его центр, поднимается до высоты  $-7^\circ$ , и соответственно наступлением темноты — момент, когда Солнце опускается на высоту, равную  $-7^\circ$ . Это весьма условно, так как при одном и том же положении Солнца под горизонтом может быть светлее или темнее в зависимости от метеорологических условий, например, при облачной погоде светлое время до восхода или после захода Солнца сокращается.

Промежуток времени между рассветом и восходом Солнца, а также между заходом Солнца и наступлением темноты называется сумерками.

Продолжительность сумерек зависит от времени года и широты места. Самые короткие сумерки бывают в дни равноденствий и на земном экваторе; самые длинные — в дни солнцестояний и на географических полюсах.

Если высота Солнца в полночь не будет ниже  $-7^\circ$ , то полная темнота совсем не наступает, сумерки будут продолжаться всю ночь: такие ночи называют «белыми ночами». Во время «белых ночей» Солнце не опускается глубоко под горизонт, поэтому утренние сумерки наступают раньше, чем кончаются вечерние сумерки, как говорят «заря с зарей встречается».

Высота Солнца в полночь, т. е. в момент его нижней кульминации, определяется формулой

$$h = \varphi + \delta - 90^\circ.$$

Подставив в эту формулу наибольшее значение склонения Солнца  $\delta = +23^\circ,5$  и минимальную высоту Солнца для сумерек

$h = -7^\circ$ , мы легко определим, что «белые ночи» могут быть при широте  $\varphi = 59^\circ,5$  и больше. Иначе говоря, в наших северных широтах «белые ночи» наблюдаются примерно начиная от широты Ленинграда ( $\varphi = 60^\circ$ ) и доходят до северного полюса.

Для определения моментов естественного освещения используют:

- таблицы Солнца;
- графики для определения моментов восхода, захода Солнца и наступления темноты и рассвета;
- таблицы Луны.

Таблицы Солнца составлены для северных широт от  $30^\circ$  до  $70^\circ$  в двух книгах: для западной части и для восточной части СССР.

Они действительны на длительное время. (Условно приняты до 1980 г.) В таблицах Солнца на каждый день года (на отдельной странице), для каждой широты, выраженной целым числом градусов, даются моменты рассвета, восхода и захода Солнца и наступления темноты. Все моменты естественного освещения даются в таблицах для восточной долготы  $30^\circ$  по московскому декретному времени (западная часть СССР) или для восточной долготы  $135^\circ$  по хабаровскому декретному времени (восточная часть СССР). На каждой странице таблиц даются также азимуты точек восхода и захода Солнца и продолжительность светлого времени. Для других долгот необходимо вводить поправки, имеющиеся в этих же таблицах. Для определения моментов восхода и захода Солнца в зависимости от различных высот полета также вводятся соответствующие поправки.

Графики для определения моментов восхода, захода Солнца и наступления темноты и рассвета (см. приложения 7, 8, 9 и 10) весьма просты и удобны для пользования. Они позволяют с достаточной для практических нужд точностью определять моменты естественного освещения. Порядок пользования этими графиками указан непосредственно на графиках.

Таблицы Луны издаются на каждый год и выходят в самостоятельном издании как приложение к Авиационному астрономическому ежегоднику.

В этих таблицах даются на каждый день года для северных широт от  $0^\circ$  до  $84^\circ$  моменты восхода и захода Луны по местному времени на Гринвичском меридиане.

Полученное значение момента восхода или захода Луны по вспомогательной таблице исправляется на величину поправки за широту, долготу места наблюдателя и, если надо, за высоту полета.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА САМОЛЕТА

Определение места самолета является одной из важнейших задач экипажа в полете. Оно может быть определено при помощи различных навигационных средств, в том числе и при помощи астрономических. Из астрономических средств для этой цели применяется авиационный секстант и астрономические таблицы, служащие расчетными пособиями для определения места самолета.

Применяемые в настоящее время астрономические приборы и таблицы разработаны и созданы в нашей стране, нашими советскими учеными, конструкторами, штурманами и летчиками.

#### Круги равных высот светил

Если в некоторый момент времени центр Земли соединить прямой линией со светилом, то эта линия пересечет земную поверхность в точке проекции светила. Человек, находящийся в этой точке на Земле, будет наблюдать светило прямо над головой, т. е. в зените, и его высота будет  $h=90^\circ$ , а зенитное расстояние  $z=0^\circ$ .

Точка проекции светила на земную поверхность  $C_1$  (рис. 27) называется географическим местом светила.

Очевидно, что координаты географического места светила ( $\varphi_*$ ,  $\lambda_*$ ) будут соответствовать экваториальным координатам светила: широта географического места светила будет равна склонению светила, а долгота — западному гринвичскому часовому углу.

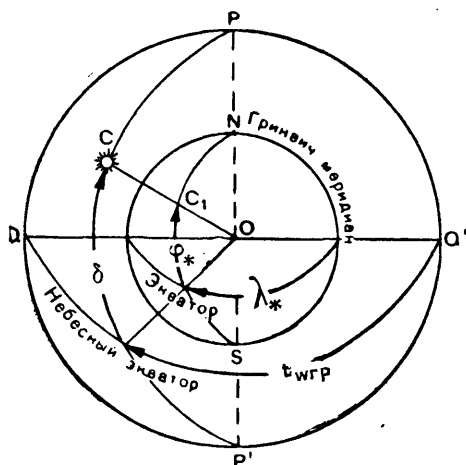


Рис. 27. Соответствие координат географического места светила экваториальным координатам

$$\varphi_* = \delta;$$

$$\lambda_* = t_{wgp}.$$

Если взять светило, которое не изменяет своего места на небесной сфере (звезда), то географическое место светила вследствие вращения Земли будет перемещаться на земной поверхности по параллели в направлении, обратном вращению Земли, т. е. с востока на запад. При этом широта географического места светила будет оставаться постоянной — равной склонению светила, а долгота будет равна гринвичскому западному часовому углу.

Географические места светил, изменяющих со временем свои экваториальные координаты (Солнце, Луна, планеты), будут перемещаться не по земным параллелям, но их географические координаты также будут всегда соответствовать экваториальным координатам.

Если наблюдатель находится не в географическом месте светила, а где-то в стороне от него, то для этого наблюдателя светило не будет в зените, высота его будет меньше  $90^\circ$ , а зенитное расстояние, являющееся дополнением высоты до  $90^\circ$ , будет соответственно больше  $0^\circ$ . Очевидно, что чем дальше будет наблюдатель от географического места светила, тем меньшей для него будет высота светила и соответственно тем больше будет его зенитное расстояние. Очевидно, что одна и та же высота светила будет не только в одной точке, а на целой окружности, центром которой является географическое место светила.

На рис. 28 для наблюдателя, находящегося в точке  $A$ , высота светила  $C$  будет равна какой-то определенной величине, которая будет одинаковой для всей окружности  $AA_1$ , т. е. наблюдатель будет видеть светило под одинаковым углом к горизонту со всех точек данной окружности.

И так будет на каждой окружности, центром которой является географическое место светила, — высота светила будет постоянной, поэтому такую окружность можно назвать кругом равных высот светила. Соответственно высоте и зенитное расстояние будет постоянным для каждого круга разных высот.

На рис. 28 видно, что зенитное расстояние равно радиусу круга равных высот, выраженному в угловой величине, поэтому расстояние между двумя кругами равных высот равно разности их зенитных расстояний или разности высот светила.

Перевод линейной величины дуги земной поверхности (большого круга) в угловую величину производится по соотношению: одна минута дуги равна одной морской миле, т. е.  $1' = 1,852$  км.

Наблюдатель, измерив высоту светила и отметив время измерения, по которому можно определить координаты географического места светила для данного момента, может определить круг равных высот на земной поверхности, на котором он находился в момент измерения высоты светила. Для этого он должен по координатам светила нанести, например, на глобусе географическое место светила для момента измерения высоты и из этой точки радиусом, равным зенитному расстоянию, т. е.  $90^\circ$  минус измеренная высота светила, провести окружность, которая и будет определять, что наблюдатель находится где-то на этой окружности. Если наблюда-

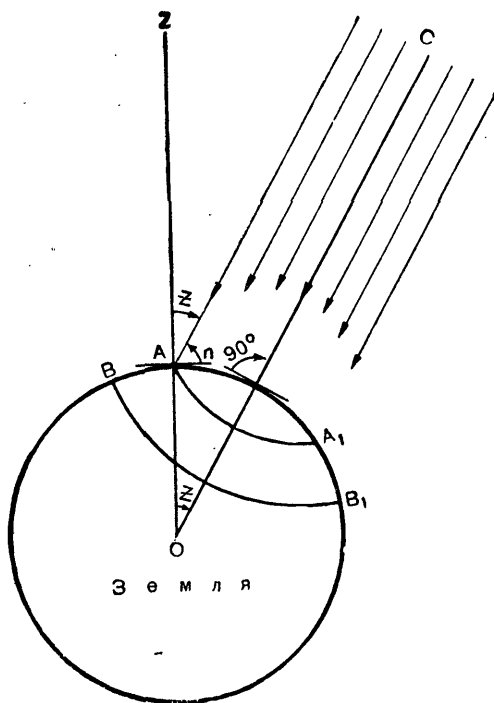


Рис. 28. Равенство зенитного расстояния радиусу круга равных высот

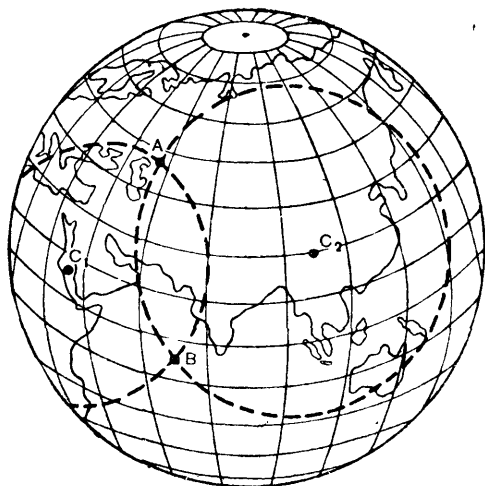


Рис. 29. Пересечение кругов равных высот светил на земной поверхности

тель измерит высоту другого светила и также проведет окружность, являющуюся кругом равных высот другого светила, то эти окружности где-то пересекутся в двух точках  $A$  и  $B$  (рис. 29), это укажет на то, что наблюдатель находится в одной из этих двух точек.

Эти точки обычно отстоят одна от другой на очень большом расстоянии (на несколько тысяч километров) и поэтому, хотя бы весьма приблизительно зная свое местонахождение, можно без сомнения указать, в какой из двух точек находится наблюдатель. Очевидно, что если наблюдатель находится где-то в прикаспийских степях, то он и возьмет за точку своего местонахождения точку  $A$ , а не точку  $B$ , находящуюся в Индийском океане.

### Методы определения линии положения и места самолета

Радиусы кругов равных высот очень велики. Легко подсчитать, что даже при высоте светила  $h = 70^\circ$ , т. е. когда зенитное расстояние  $z = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$ , радиус круга равных высот будет равен  $20 \cdot 111 = 2220$  км (один градус дуги большого круга равен 111 км, см. приложение 2). Поэтому часть круга равных высот можно без большой ошибки изобразить на карте прямой линией, которая также будет служить линией равных высот или линией положения наблюдателя, т. е. линией, на кото-



рой находится наблюдатель на земле или в полете, что совершенно одинаково, и эту линию можно назвать прямой равных высот светила.

Очевидно, что эта прямая, являющаяся касательной линией к кругу равных высот, будет перпендикулярна к его радиусу.

Радиус же круга равных высот, проведенный к месту наблюдения, будет соединять наблюдателя с географическим местом светила, т. е. будет определять направление на светило.

Следовательно, если мы на карте проведем направление на светило, то прямая равных высот будет перпендикулярна к этому направлению. Этот весьма важный вывод дает возможность не наносить на карту географическое место светила, что практически и невозможно, так как оно слишком удалено от наблюдателя и для его нанесения потребовалась бы слишком большая карта.

Практически на карте определяется свое приближенное местонахождение и от него проводится линия азимута светила, перпендикуляр к которой и будет определять линию положения.

Делается это следующим образом.

В полете экипаж всегда знает, где примерно он находится. В районе своего примерного местонахождения на карте намечается какая-то точка, называемая счислимой точкой. На основании координат этой точки, наблюдаемого светила и момента измерения его высоты по Ежегоднику и Таблицам высот и азимутов светил определяется вычисленная высота и азимут данного светила.

Азимут светила  $A$  прокладывается на карте непосредственно от счислимой точки. Затем определяется разность высот измеренной  $h$  и вычисленной  $h_v$ . Эта разность высот  $\Delta h = h - h_v$  характеризует величину удаления счислимой точки от линии положения самолета.

Переводя разность высот в линейную величину и отложив ее от счислимой точки по линии азимута, получим точку пересечения линии азимута светила с линией положения самолета, которая и проводится перпендикулярно к линии азимута.

Нетрудно сообразить, в какую сторону по азимуту от счислимой точки надо отложить величину разности высот: если измеренная высота больше вычисленной, значит наблюдатель в момент измерения и линия положения находятся ближе к географическому месту светила по сравнению со счислимой точкой, т. е. величина  $\Delta h$  будет положительна и ее надо отложить в сторону светила от счислимой точки; если же измеренная высота меньше вычисленной, значит, наблюдатель в момент измерения и линия положения находятся дальше от географического места светила по сравнению со счислимой точкой и величина  $\Delta h$  будет отрицательной, ее надо отложить от счислимой точки в сторону от светила.

На рис. 30 изображена схема прокладки астрономической линии положения на карте. Здесь точка  $K$  является счислимой точкой. Линия  $KC$  является линией азимута светила. Линия  $BB_1$ , проведенная через счислимую точку перпендикулярно к азимуту светила, является линией равных высот светила для вычисленной высоты  $h_v$ .

Линия  $DD_1$ , проведенная перпендикулярно линии азимута на удалении от счислимой точки на величину разности высот  $\Delta h$ , является линией равных высот (линией положения) для наблюдателя, измерившего высоту светила.

В нашем примере на рис. 30 измеренная высота светила больше вычисленной, поэтому линия положения проведена по сравнению со счислимой точкой ближе к географическому месту светила.

Определив астрономическую линию положения, мы еще не знаем, в какой точке данной линии мы находимся, но и одна линия положения в полете может быть использована для контроля

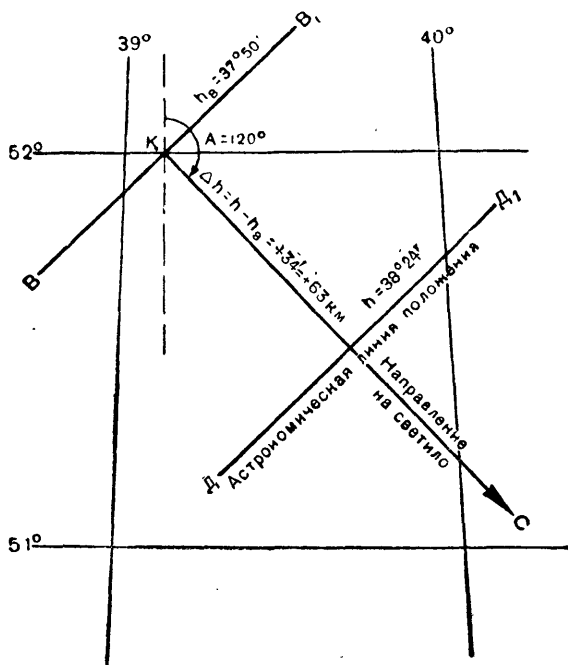


Рис. 30. Прокладка астрономической линии положения на карте

пути, для восстановления ориентировки, а также для определения своего места в сочетании с другими линиями положения, полученными при помощи других навигационных средств.

Для определения своего места только при помощи астрономических средств необходимо измерить высоту второго светила и для него также получить линию положения.

Пересечение астрономических линий положения и определит место самолета, полученное астрономическим путем. Самолет в полете все время находится в движении, а измерить одновременно высоту двух светил невозможно. Между двумя измерениями проходит какое-то время, за которое самолет значительно перемещается

от точки первоначального измерения высоты, и, следовательно, пересечение двух астрономических линий положения не дает места самолета, так как эти линии относятся к различным моментам измерения. Для получения места самолета одну из линий положения смещают по линии пути самолета на величину пролетаемого расстояния, определяемого по скорости и времени полета, и, таким образом, обе линии положения приводятся к моменту первого или второго измерения.

Выполняется это так (рис. 31).

Проводят на карте обе линии положения  $DD_1$  и  $EE_1$ . От места их пересечения  $B$  проводят линию  $BK$  в направлении линии пути

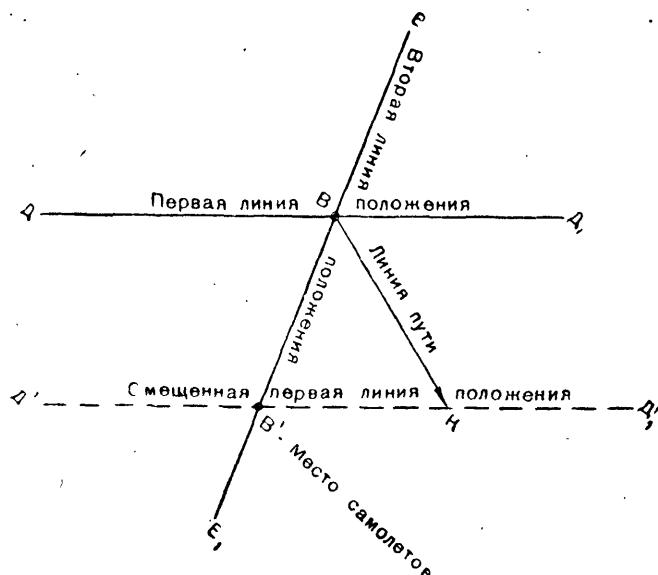


Рис. 31. Смещение линии положения из-за перемещения самолета

длиной, равной пролетаемому расстоянию за время полета между измерениями. Потом первую линию положения  $DD_1$  смещают параллельно самой себе до конца линии  $BK$ , т. е. до точки  $K$ . Полученная линия  $DD'_1$  и будет линией положения, приведенной к моменту второго измерения высоты светила, а пересечение ее со второй линией положения в точке  $B'$  и дает место самолета для времени второго измерения.

### Астрономические таблицы

Для получения различных исходных данных при решении задач авиационной астрономии используются астрономические таблицы, составленные специально для нужд авиации.

Первые такие таблицы для отечественной авиации были составлены русским ученым Н. Калитиным и вышли из печати в 1916 г. В дальнейшем с развитием авиации наши научные учреждения: Государственный краснознаменный научно-исследовательский институт ВВС, Государственный астрономический институт им. Штернберга, Институт теоретической астрономии Академии наук СССР — совместно с летным составом непрерывно совершенствовали астрономические авиационные таблицы. Особо важная роль в этом принадлежит проф. Р. В. Куницкому и инж. Л. П. Сергееву, разработавшим эти таблицы, и проф. И. Д. Жонголович, под руководством которого было рассчитано большинство астрономических таблиц.

К современным астрономическим таблицам, применяемым в авиации, относятся «Авиационный астрономический ежегодник» и различные таблицы высот и азимутов светил.

«Авиационный астрономический ежегодник» издается в СССР ежегодно с 1930 г. В нем для каждого дня на отдельной странице даются:

- часовые углы и склонения Солнца, Луны и четырех планет: Марса, Венеры, Юпитера и Сатурна;
- звездное время;
- поправки за параллакс Луны;
- фазы Луны.

В ежегоднике имеются также карты звездного неба со схемами перемещения всех четырех планет, координаты наиболее ярких 30 звезд и интерполяционные таблицы (перевод минут времени в градусы и минуты дуги, приложение 1), предназначенные для определения поправок часовых углов светил и звездного времени за минуты и секунды времени.

На отрывных листах ежегодника часовые углы и склонения Солнца и планет, а также звездное время даются на каждый час гринвичского времени, а часовые углы и склонения Луны, ввиду их более значительного изменения, даются через 10 минут в гринвичском времени.

Параллакс Луны дается по высоте Луны через одну минуту поправки за параллакс.

Для определения часового угла светила, склонения и звездного времени необходимо знать гринвичское время  $T_{гр}$  того момента, для которого производится это определение. Его получают расчетом, отнимая от поясного декретного времени  $T$ , по которому идут часы, номер часового пояса с учетом декретного часа  $N$  по формуле

$$T_{гр} = T - N.$$

Если, например, московское время равно 12 ч. 30 м., то, зная, что московский часовой пояс с учетом декретного часа равен 3, мы легко рассчитаем гринвичское время: 12 ч. 30 м. — 3 часа = 9 ч. 30 м. Гринвичский часовой угол, или звездное время в Ежегоднике отсчи-

тывается против соответствующего гринвичского времени, выраженного в часах, и к нему прибавляется поправка за минуты и секунды, выбранные из интерполяционной таблицы.

Например, определим гринвичский часовой угол  $t_{гр}$  для рассчитанного гринвичского времени  $T_{гр} = 4$  ч. 25 м. 40 с. 19 декабря 1951 г. (см. табл. 4).

На отрывном листе находим для  $T_{гр} = 4$  часам

$$t_{гр} = 240^{\circ}50',$$

на интерполяционной таблице (приложение 1) для 25 минут поправка равна  $6^{\circ}15'$ ; для 40 секунд поправка равна  $10'$ ; сложив, получим для  $T_{гр} = 4$  ч. 25 м. 40 с.

$$t_{гр} = 247^{\circ}15'.$$

Расчет гринвичского часового угла Луны выполняют также, только значение  $t_{гр}$  на отрывном листе выбирают для времени с точностью до 10 минут и прибавляют к нему поправки за оставшиеся минуты и секунды, взятые из интерполяционных таблиц.

Гринвичский часовой угол звезды определяется по формуле

$$t_{гр} = S_{гр} - \alpha.$$

Гринвичское звездное время  $S_{гр}$  берется также для целого числа часов  $T_{гр}$  из отрывного листа ежегодника и к нему прибавляются поправки за минуты и секунды, взятые из интерполяционных таблиц.

Значение прямого восхождения светила берется из таблицы координат звезд Ежегодника.

Например, требуется определить гринвичский часовой угол звезды Вега для  $T_{гр} = 2$  ч. 12 м. 20 с. 19 декабря 1951 г. На отрывном листе находим для  $T_{гр} = 2$  часам

$$S_{гр} = 116^{\circ}52';$$

по интерполяционной таблице для 12 минут поправка равна  $3^{\circ}00'$ , для 20 секунд поправка равна  $5'$ , затем, сложив их, получим для  $T_{гр} = 2$  ч. 12 м. 20 с.

$$S_{гр} = 119^{\circ}57'.$$

В таблице координат звезд находим для Веги  $\alpha = 278^{\circ}49'$ .

В нашем примере  $\alpha$  получалась больше  $S_{гр}$ , т. е. уменьшаемое число больше, чем вычитаемое. В таком случае к  $S_{гр}$

Как пример в табл. 4 дается сокращенный лист  
Астрономического авиационного ежегодника на 19 де-  
кабря 1951 г.

19 дека

бря 1951 г.

Таблица 4

Параллакс Луны				Лу				на								
р	высота Луны	р	высота Луны	T <sub>гр</sub>	t <sub>гр</sub>	δ	T <sub>гр</sub>	t <sub>гр</sub>	δ	T <sub>гр</sub>	t <sub>гр</sub>	δ	T <sub>гр</sub>	t <sub>гр</sub>	δ	
0	89 29	30	56 07	ч. м.	° ' /	° ' /	ч. м.	° ' /	° ' /	ч. м.	° ' /	° ' /	ч. м.	° ' /	° ' /	
1	88 26	31	54 51	0 00	297 19	+13 -02	6 00	24 48	+12 -19	12 00	112 17	+10 +22	18 00	199 47	+9 +01	
2	87 23	32	53 33	10	299 45	+13 -04	10	27 13	+12 -21	10	114 43	+10 +20	10	202 13	+9 -01	
3	86 20	33	52 14	20	302 11	+13 -06	20	29 39	+12 -24	20	117 09	+10 +17	20	204 39	+9 -03	
4	85 16	34	50 54	30	304 36	+13 -09	30	32 05	+12 -26	30	119 34	+10 +15	30	207 05	+9 -06	
5	84 13	35	49 32	40	307 02	+13 -11	40	34 31	+12 -28	40	122 00	+10 +13	40	209 31	+9 -08	
6	83 10	36	48 09	50	309 28	+13 -13	50	36 57	+11 +30	50	124 26	+10 +11	50	211 56	+9 -10	
7	82 07	37	46 43	1 00	311 54	+13 -15	7 00	39 22	+11 +28	13 00	126 52	+10 +08	19 00	214 22	+9 -13	
8	81 03	38	45 16	10	314 19	+13 -17	10	41 48	+11 +26	10	129 18	+10 +06	10	216 48	+9 -15	
и т. д.				20	316 45	+13 -19	20	44 14	+11 +23	20	131 44	+10 +04	20	219 14	+9 -17	
				30	319 11	+13 -21	30	46 40	+11 +21	30	134 09	+10 +02	30	221 40	+9 -19	
				40	321 37	+13 -23	40	49 06	+11 +19	40	136 35	+10 00	40	224 06	+9 -22	
				50	324 03	+13 -26	50	51 31	+11 +17	50	139 01	+10 -03	50	226 32	+9 -24	
Фаза Луны последняя четверть 21 декабря 14 ч. 37 м.				2 00	326 28	+13 -28	8 00	53 57	+11 +15	14 00	141 27	+10 -05	20 00	228 57	+9 -26	
				10	328 54	+13 -30	10	56 23	+11 +12	10	143 53	+10 -07	10	231 23	+9 -28	
				и т. д.				и			и т. д.			и т. д.		

Солнце			Венера		Марс		Юпитер		Звезды	
T <sub>гр</sub>	t <sub>гр</sub>	δ	t <sub>гр</sub>	δ	t <sub>гр</sub>	δ	t <sub>гр</sub>	δ	t <sub>гр</sub>	δ
ч.	° ' /	° ' /	° ' /	° ' /	° ' /	° ' /	° ' /	° ' /	ч.	° ' /
0	180 51	-23 -24	225 52	-13 -14	253 25	-4 +09	81 47	+1 -19	0	86 47
1	195 51	-23 -24	240 51	-13 -15	268 26	-4 +08	96 50	+1 -19	1	101 50
2	210 51	-23 -24	255 51	-13 -16	283 27	-4 +08	111 52	+1 -19	2	116 52
3	225 50	-23 -24	270 50	-13 -17	298 28	-4 +07	126 54	+1 -19	3	131 55
4	240 50	-23 -24	285 50	-13 -18	313 30	-4 +07	141 57	+1 -19	4	146 57
5	255 50	-23 -24	300 50	-13 -19	328 31	-4 +06	156 59	+1 -19	5	162 00
6	270 50	-23 -24	315 49	-13 -20	343 32	-4 +06	172 01	+1 -19	6	177 02
и т. д.			и т. д.		и т. д.		и т. д.		и т. д.	

прибавляется  $360^\circ$ . Следовательно, в нашем примере  $S_{\text{гр}} = 119^\circ 57' + 360^\circ = 479^\circ 57'$  и, значит,

$$t_{\text{гр}} = 479^\circ 57' - 278^\circ 49' = 201^\circ 08'.$$

Для перехода от гринвичского часового угла  $t_{\text{гр}}$  любого светила к местному часовому углу  $t$  этого светила к первому прибавляется значение географической долготы данного места  $\lambda$  и расчет производится по формуле

$$t = t_{\text{гр}} + \lambda.$$

Значение склонений светил  $\delta$  в ежегоднике дается как сумма градусов и минут, со своим самостоятельным знаком как для градусов, так и для минут.

Например, 19 декабря 1951 г. для  $T_{\text{гр}} = 6$  ч. 30 м. склонение Луны  $\delta = +12^\circ - 26'$ . Это значит, что  $\delta = 12^\circ - 26' = 11^\circ 34'$ . Такое необычайное обозначение склонения обусловлено удобством его использования при расчетах по таблицам высот и азимутов светил.

**Таблицы высот и азимутов светил.** Само название этих таблиц объясняет, что они служат для расчета высот и азимутов светил. Таких таблиц имеется два вида: «Таблицы высот и азимутов Солнца, Луны и планет» — их сокращенно называют ТВА и «Таблицы высот и азимутов звезд» — их сокращенно называют ТВАЗ.

ТВА и ТВАЗ издаются в нескольких книгах, различаемых одна от другой только географическими широтами, для которых составлены эти книги.

В целом основные таблицы охватывают северные широты от  $14^\circ$  до  $88^\circ$  и по книгам делятся так:

ТВА-ю и ТВАЗ-ю для северных широт от  $14^\circ$  до  $28^\circ$ ;

ТВА-I и ТВАЗ-I для северных широт от  $30^\circ$  до  $44^\circ$ ;

ТВА-II и ТВАЗ-II для северных широт от  $46^\circ$  до  $60^\circ$ ;

ТВА-III и ТВАЗ-III для северных широт от  $62^\circ$  до  $76^\circ$ ;

ТВА-IV и ТВАЗ-IV для северных широт от  $78^\circ$  до  $88^\circ$ .

В дополнительном издании книги I, II, III как ТВА, так и ТВАЗ объединены в две книги каждая:

ТВА-Ic и ТВАЗ-Ic для северных широт от  $28^\circ$  до  $54^\circ$ .

ТВА-IIc и ТВАЗ-IIc для северных широт от  $52^\circ$  до  $78^\circ$ .

Как ТВА, так и ТВАЗ весьма просты по содержанию и удобны для расчетов высот и азимутов светил.

В «Таблицах высот и азимутов Солнца, Луны и планет» для получения высоты и азимута светила необходимо знать:

— приближенную широту места  $\varphi_{\text{п}}$ , округленную до четного числа градусов;

— местный часовой угол светила  $t$ , также выраженный четным числом градусов;

— склонение светила  $\delta$ , выраженное в градусах и минутах.

В табл. 5 для примера показана часть одной из страниц ТВА-II.

$\varphi \backslash t$	46°			48°			50°			52°			$\Delta \delta \backslash$	10	9
	$h$	$f$	$A$	$h$	$f$	$A$	$h$	$f$	$A$	$h$	$f$	$A$			
0°	62°00'	10	180°	60°00'	10	180°	58°00'	10	180°	56°00'	10	180°	0'	0'	0'
2	61 57	10	176	59 57	10	176	57 58	10	176	55 58	10	177	1	1	1
4	61 48	10	172	59 49	10	172	57 50	10	173	55 51	10	173	2	2	2
6	61 34	10	168	59 36	10	169	57 38	10	169	55 40	10	170	3	3	3
8	61 13	10	164	59 18	10	165	57 22	10	166	55 25	10	167	4	4	4
10	60 48	10	160	58 55	10	161	57 01	10	162	55 06	10	163	5	5	4
12	60 17	10	157	58 27	10	158	56 35	10	159	54 43	10	160	6	6	5
14	59 42	9	153	57 54	10	154	56 05	10	156	54 15	10	157	7	7	6
16	59 01	9	149	57 17	9	151	55 31	9	152	53 45	10	154	8	8	7
18	58 17	9	146	56 36	9	148	54 54	9	149	53 10	9	151	9	9	8
20	57 28	9	143	55 52	9	145	54 13	9	146	52 32	9	148	10	10	9
и т. д.	и т. д.			и т. д.			и т. д.			и т. д.			11	11	10
													и т. д.		

В таблицах на каждой странице сверху дается положительное склонение  $+ \delta$  в целых градусах (в нашем примере  $+18^\circ$ ), ему соответствует левый столбик значений  $t$ .

Отрицательное склонение  $-\delta$  обозначается снизу таблицы, ему соответствует такой же правый столбик значений.

Для расчета по ТВА высоты светила  $h$  и его азимута необходимо:

- 1) По ежегоднику рассчитать гринвичский часовой угол светила  $t_{\text{гр}}$  для заданного момента,
- 2) Вычислить местный часовой угол светила  $t$  по формуле

$$t = t_{\text{гр}} + \lambda_{\text{н}},$$

где  $\lambda_{\text{н}}$  — приближенная восточная долгота.

Таблица составлена для целых четных значений градусов местного часового угла, поэтому надо приближенную долготу выбирать так, чтобы ее сумма с гринвичским часовым углом выражалась целым четным числом градусов.

Полученный по этой формуле местный часовой угол  $t$  будет западным (если он превышает  $360^\circ$ , то из него надо вычесть  $360^\circ$ ). Если величина  $t$  будет больше  $180^\circ$  и меньше  $360^\circ$ , его нужно перевести в восточный, взяв его дополнение до  $360^\circ$ .

Наименование местного часового угла — западный или восточный — надо знать для того, чтобы получить из таблиц **навигационный** азимут, отсчитываемый от севера к востоку от 0 до  $360^\circ$ .

Навигационный азимут равен табличному, если часовой угол восточный или равен дополнению табличного азимута до  $360^\circ$ , если часовой угол западный.

3) По склонению светила  $\delta$ , взятому из ежегодника (в целых градусах), найти требуемую страницу в ТВА.

4) По широте  $\varphi_{\text{н}}$  и местному часовому углу  $t$  найти высоту  $h$  и азимут  $A$ .



5) По индексу  $f$  на полях страницы найти поправку к высоте за минуты склонения и исправить высоту на эту поправку.

**Пример.** Найти высоту и азимут светила, если известно: широта  $\varphi_n = 46^\circ$ ;

местный часовой угол (восточный)  $t = 14^\circ$ ;

склонение  $\delta = +18^\circ - 10'$ .

На странице, где  $\delta = +18^\circ$  (табл. 5), в столбце с  $\varphi = 46^\circ$ , против  $t = 14^\circ$  находим

$$h = 59^\circ 42'; A = 153^\circ; f = 9.$$

На полях страницы индексу  $f = 9$  и  $\Delta\delta = 10'$  соответствует поправка, равная  $9'$ . Минуты склонения у нас с минусом, значит, мы должны уменьшить табличную высоту на  $9'$ , и тогда  $h = 59^\circ 42' - 9' = 59^\circ 33'$ .

Местный часовой угол у нас был восточным, значит, полученный табличный азимут  $A = 153^\circ$  и есть навигационный. ТВА не связаны с какими-либо изменяющимися со временем астрономическими данными, поэтому они могут быть использованы в течение неограниченно большого периода времени.

В «Таблицах высот и азимутов звезд» для получения высоты и азимута какой-либо аэронавигационной звезды необходимо знать:

— приближенную широту места  $\varphi_n$ , округленную до четного числа градусов;

— местное звездное время  $S$ , выраженное целым числом градусов.

В табл. 6 для примера показана часть одной из страниц ТВАЗ-III.

Таблица 6

$S$  = от 180 до 225°

$\varphi = 68^\circ$

$S$	Поправка к высоте Полярной	Бега		Капелла		Арктур		Денеб		Регул	
		$h$	$A$	$h$	$A$	$h$	$A$	$h$	$A$	$h$	$A$
180°	+52	32°22'	66°	37°50'	300°	37°08'	139°	29°09'	38°	31°11'	213°
181	+53	32 43	67	37 31	301	37 23	141	29 23	39	30 58	214
182	+53	33 04	68	37 11	302	37 37	142	29 37	40	30 45	215
183	+53	33 24	68	36 52	303	37 50	143	29 52	41	30 32	216
184	+54	33 45	69	36 34	304	38 04	144	30 06	41	30 19	218
185	+54	34 06	70	36 15	304	38 17	145	30 21	42	30 05	219
и т. д.		и т. д.		и т. д.		и т. д.		и т. д.		и т. д.	

Для расчета по ТВАЗ высоты светил  $h$  и его азимута  $A$  необходимо:

1) По ежегоднику рассчитать гринвичское звездное время  $S_{гр}$  для заданного момента.

2) Вычислить местное звездное время  $S$  по формуле

$$S = S_{гр} + \lambda_n.$$

Таблицы составлены для целых значений градусов местного звездного времени, поэтому приближенную долготу  $\lambda_n$  нужно выбирать так, чтобы ее сумма с гринвичским звездным временем выражалась целым числом градусов.

3) По широте места  $\varphi_n$  и интервалу звездного времени, внутри которого находится вычисленное  $S$ , найти требуемую страницу ТВАЗ (в нашем примере  $S =$  от  $180^\circ$  до  $225^\circ$ ).

4) По значению местного звездного времени  $S$  и названию звезды найти ее высоту  $h$  и азимут  $A$ .

**Пример.** Найти высоту и азимут звезды Капелла, если известно: широта  $\varphi_n = 68^\circ$ ;

местное звездное время  $S = 184^\circ$ .

На странице, где  $\varphi = 68^\circ$  и  $S =$  от  $180^\circ$  до  $225^\circ$  (табл. 6), в столбце с наименованием Капелла против  $S = 184^\circ$  находим  $h = 36^\circ 34'$ ;  $A = 304^\circ$ .

В ТВАЗ, помимо высот и азимутов звезд, на каждый градус местного звездного времени дается также поправка к высоте Полярной, прибавив которую к измеренной (и соответственно исправленной) высоте Полярной, мы можем сразу получить географическую широту своего места.

Значения координат звезд в ТВАЗ зависят от изменяющихся со временем астрономических данных, поэтому эти таблицы составляются на определенный период времени (эпоху).

Существующие таблицы высот и азимутов звезд составлены для эпохи 1950 г. — они могут применяться примерно до 1954 г.

В качестве приложения к ТВА и ТВАЗ имеются различные дополнительные таблицы, используемые при астронавигационных расчетах.

### Авиационный секстант и его применение

В условиях полета самолета, а тем более дальнего полета при невидимости земли, на самолете нужен прибор, при помощи которого можно было бы определять свое местонахождение независимо от пройденного расстояния и времени полета и независимо от какого бы то ни было наземного оборудования.

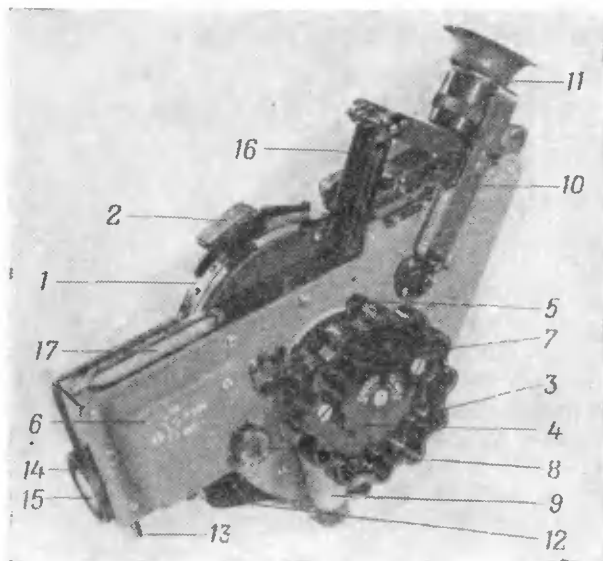
Таким инструментом и является авиационный секстант. Русский ученый, ныне академик, Линник еще в 1915 г. сконструировал авиационный секстант, который в дальнейшем с развитием техники значительно усовершенствовался. Современный авиасекстант представляет собой весьма совершенный ручной оптический прибор, которым измеряются высоты небесных светил, и по этим данным рассчитывается местоположение самолета.

Авиасекстант дает возможность совмещать изображение пузырька сферического уровня секстанта с изображением какого-либо светила и одновременно видеть их.

Уровень секстанта определяет вертикаль, а значит, и плоскость истинного горизонта, расположенную относительно вертикали под углом  $90^\circ$ . Таким образом, совмещая луч света, идущий через уро-

вень, и луч света, идущий от светила, мы получаем два направления: направление в плоскости истинного горизонта и направление на светило. Очевидно, что угол между ними и будет высотой светила.

Высокая точность измерения высоты светил достигается благодаря тому, что прибор имеет автоматический осреднительный (интегрирующий) механизм, непрерывно осредняющий измерения в течение определенного периода времени, что исключает случайные ошибки измерения.



**Рис. 32.** Авиационный секстант (вид слева):

1 — угломерный круг; 2 — коромысло; 3 — рукоятка; 4 — реостат; 5 — включатель электросети секстанта; 6 — часовой механизм осреднителя; 7 — пусковой рычаг; 8 — заводная головка часового механизма; 9 — механизм уровня; 10 — направляющие пазы для вставки окуляра; 11 — окулярная трубка; 12 — крышка лампочки; 13 — переключатель освещения; 14 — вкладыш; 15 — матовое стекло; 16 — подвижные светофильтры; 17 — окно шкал осредняющего механизма

Авиасекстант (рис. 32) состоит из двух скрепленных между собой рам, образующих корпус секстанта, внутри которого расположена оптическая система, рабочая камера уровня и основная часть осреднителя. На правой стороне корпуса размещены: шкала десятков градусов; угломерный круг 1 со шкалой в градусах и минутах и с жестко закрепленной на нем рукояткой, служащей для поворачивания круга в момент измерения; коромысло 2, сцепляющее угломерный круг с осредняющим механизмом.

На левой стороне корпуса секстанта размещены: рукоятка 3, служащая для удержания секстанта левой рукой; реостат 4, необходимый для регулирования освещения секстанта, включатель электросети секстанта 5; часовой механизм осреднителя 6 с индексами 40, 120 и 200 секунд для установки продолжительности ра-

боты осредняющего механизма; пусковой рычаг часового механизма 7, нажатием которого включается в работу часовая механизм, заводная головка часового механизма 8, механизм уровня 9, направляющие пазы для вставки кронштейна окулярной трубки 10, окулярная трубка 11, дающая двукратное увеличение изображения.

Снизу секстанта находится крышка лампочки освещения поля зрения 12 и переключатель фильтров ночного освещения поля зрения 13. В передней части секстанта имеется отверстие, в которое вставляется вкладыш 14 с матовым стеклом 15 для лучшего рассеивания света при наблюдении днем; при ночном наблюдении вставляется другой вкладыш — с зеркалом, отражающим свет от

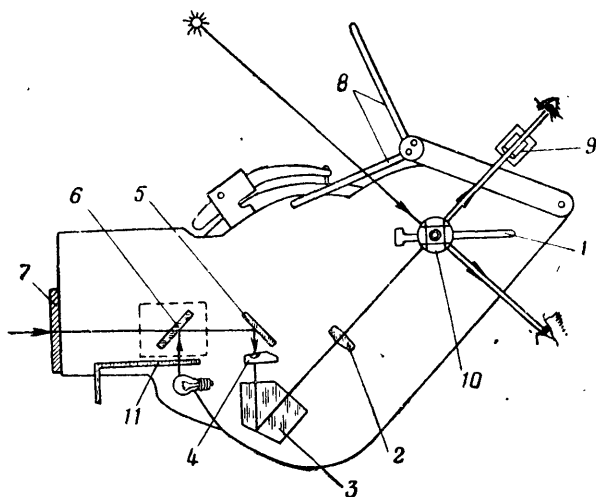


Рис. 33. Оптическая система авиасекстанта.

1 — главное зеркало; 2 — линза; 3 — пятигранная призма;  
4 — линза уровня; 5 — зеркало освещения уровня; 6 — зеркало  
ночной подсветки; 7 — матовый рассеиватель для наблюдения  
днем; 8 — цветной светофильтр; 9 — окуляр; 10 — сетка уровня;  
11 — ночной светофильтр

специальной лампочки. Сверху секстанта в задней части над главным зеркалом на кронштейне расположены подвижные светофильтры 16, предназначенные в случае наблюдения Солнца для уменьшения яркости его видимости. В передней части секстанта сверху помещается окно шкал осредняющего механизма 17, сквозь которое производится отсчет осредненной величины градусов и минут, являющейся дополнением к отсчету высоты на угломерном круге.

Оптическая система секстанта представлена на рис. 33.

При дневных наблюдениях лучи света, пройдя через матовый рассеиватель 7, встречают на своем пути зеркало 5, отражаясь от которого проходят через уровень 4, неся изображение сетки и пузырька уровня. Далее, пройдя пятигранную призму, лучи меняют свое направление, попадают на линзу 2, пройдя которую попадают

на главное зеркало 1, где и наблюдаются глазом, луч зрения которого проходит через окуляр 9. Здесь же наблюдаются и лучи, идущие от светила через цветной светофильтр 8. Таким образом.



**Рис. 34.** Измерение авиасекстантом высоты светила

на главном зеркале получается одновременное изображение пузырька уровня и светила на фоне сетки уровня 10. При ночных наблюдениях луч света, идущий от лампочки, пройдя ночной светофильтр 11, встречается с зеркалом ночной подсветки 6, отразив-



**Рис. 35.** Измерение авиасекстантом высоты светила „на просвет“

шись от которого попадает на зеркало 5 и дальше следует, как и при дневном наблюдении. Изображение пузырька уровня и светила на главном зеркале можно наблюдать и смотря снизу на главное

зеркало, как говорят «на просвет», что и применяют иногда при ночных наблюдениях, так как в этом случае увеличивается обзор, а значит, и облегчается отыскание светила на ночном небе.

Измерение высоты светила через окуляр и «на просвет» показано на рис. 34 и 35.

Авиасекстант дает возможность измерить высоты как днем, так и ночью в пределах от  $0$  до  $80^\circ$  с точностью до  $1-2'$ .

Измерять высоты светил можно как стоя на земле, так и находясь в полете. В самолете измерения производятся или через специальный астрокупол или чаще всего через участки плоского остекления кабины. В последнем случае исключается поправка к измеренной высоте, так как плоское остекление лучи не преломляет.

Как известно, луч света, попадая из одной среды в другую, преломляется. В этом легко убедиться на искаженном изображении ложки в стакане с водой (рис. 36). При прохождении лучей света через сферический астрокупол или через неплоское остекление кабины самолета они тоже преломляются. На рис. 37 показан ход

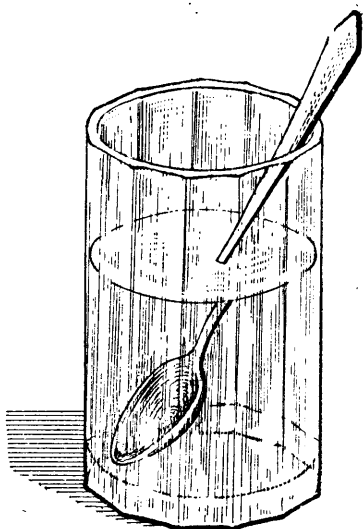


Рис. 36. Искаженное изображение ложки, полупогруженной в стакан с водой

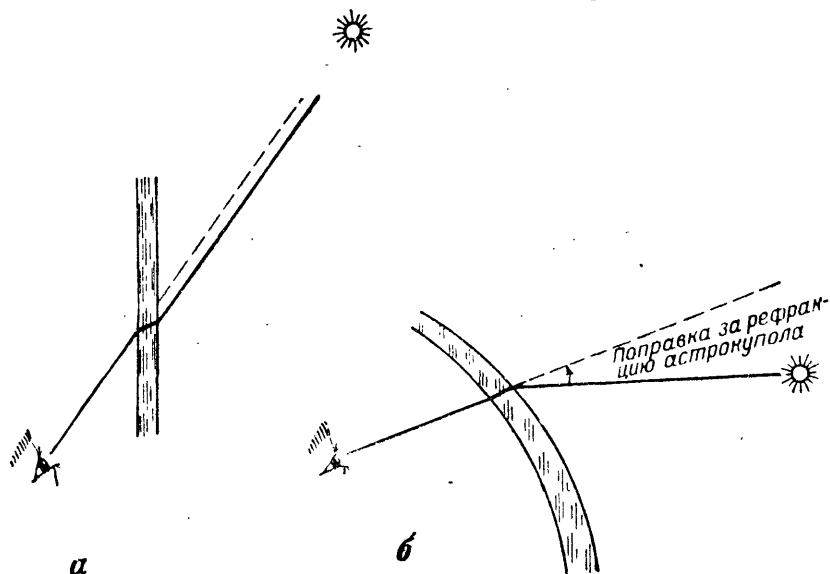


Рис. 37. Ход лучей светила

а — через плоское остекление; б — через сферический астрокупол.

лучей через плоское остекление и через сферический астрокупол. Проходя через плоское остекление, луч света выходит в том же направлении, тогда как, проходя поверхность сферического астрокупола, он выходит из нее, отклоняясь в сторону. Отклонение луча в сферическом астрокуполе происходит по двум причинам: во-первых, от несовпадения луча с радиусом поверхности астрокупола и, во-вторых, оттого, что у существующих сферических астрокуполов толщина поверхности несколько увеличивается к его основанию.

Поправки за преломление лучей света в сферическом астрокуполе, называемые поправками за рефракцию астрокупола, можно учитывать по специальным таблицам.

Для работы с секстантом надо, заведя часовой механизм нажатием пускового рычага, пустить его в ход и при работающем часовом механизме установить его время работы на интервал 40, 120 или 200 секунд. При спокойных условиях полета обычно ограничиваются интервалом в 40 секунд. Перед началом измерений, если они производятся днем, в круглое отверстие секстанта вставляется вкладыш с матовым рассеивателем; если измерения производятся ночью, вставляется вкладыш с зеркалом и подключается и регулируется освещение от бортовой сети или от сухой батареи. Затем, взяв прибор в правую руку и наблюдая в главное зеркало, левой рукой поворачивают рукоятку регулировки пузырька уровня, добиваясь появления пузырька нужных размеров в поле зрения секстанта. Пузырек уровня должен быть диаметром примерно в  $\frac{1}{3}$  стороны квадрата сетки уровня.

Затем снова заводится часовой механизм, отключается тормоз угломерного круга, если он был до этого включен, и секстант к работе готов.

При измерении высоты светила надо вначале добиться его приближенного совмещения с пузырьком уровня, потом нажатием на рычаг коромысла сцепить палец коромысла с угломерным кругом. Вторично совместить светило с пузырьком и нажатием на пусковой рычаг пустить в ход часовой механизм. В продолжение его работы по возможности точнее выдержать совмещение светила с пузырьком уровня в поле зрения секстанта.

По окончании работы часового механизма заметить время и отсчитать высоту светила, которая складывается из отсчетов десятков градусов на шкале десятков градусов, единиц градусов на шкале угломерного круга и шкале диска осреднителя и минут на шкале барабана осреднителя. Измеренная высота светила будет относиться к моменту времени, соответствующему моменту середины интервала времени осреднения секстантом, поэтому обычно отмечают на часах момент времени конца измерения и вычитают из него половину времени интервала осреднителя.

В работе с секстантом весьма важным является умение правильно совместить изображение пузырька уровня с изображением светила. Совмещая изображения светила и уровня, надо по возможности светило располагать в центре пузырька уровня или рядом с ним на одной горизонтальной линии, не допуская, чтобы све-

тило (если Солнце или Луна — то центр) отходило от центра пузырька уровня вверх или вниз (рис. 38). Правильно совмещенные изображения пузырька уровня и светила еще надо правильно расположить в поле зрения секстанта. Пузырек уровня со светилом надо располагать в среднем квадрате или во всяком случае между двумя вертикальными линиями сетки (рис. 39) так, чтобы пузырек не касался края поля зрения. Нельзя допускать также, чтобы пузы-

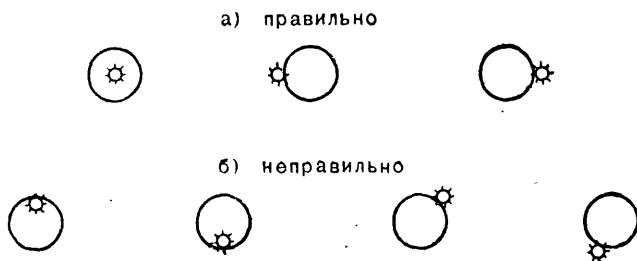


Рис. 38. Совмещение светила с пузырьком уровня

рек уровня был правее или левее полосы между вертикальными линиями, так как это дает ошибку в измерении высоты светила.

Авиасекстант, как и всякий измерительный прибор, имеет инструментальную ошибку, которая возникает за счет неточности регулировки и работы отдельных механизмов, неточности нанесения или повреждения шкал и т. д. Эта ошибка периодически выве-

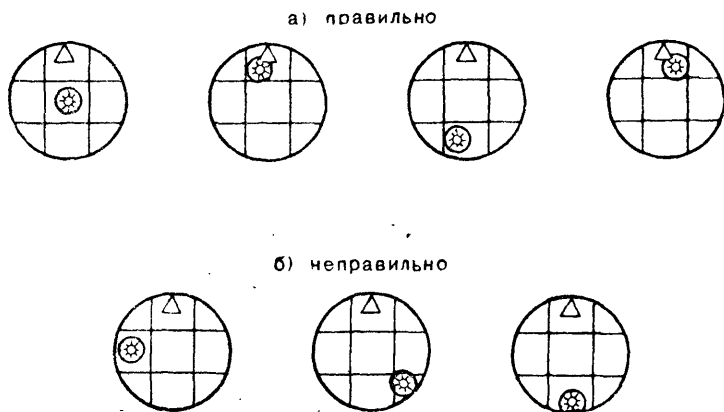


Рис. 39. Расположение пузырька уровня и светила в поле зрения секстанта

ряется на специальном так называемом юстировочном приборе. Юстировочный прибор (рис. 40) дает возможность путем наблюдения специальной лампочки, имитирующей светило, с высокой



точностью определить ошибки секстанта на всем диапазоне измеряемых высот. Принцип работы юстировочного прибора заключается в том, что установленным на нем авиасекстантом в различных положениях измеряют высоту «светила» и измеренную высоту сравнивают с высотой, полученной на самом юстировочном приборе. Разница дает поправку секстанта. Но определение инструментальной поправки секстанта не решает полностью вопроса о его ошибках. Дело в том, что, помимо инструментальной ошибки сек-

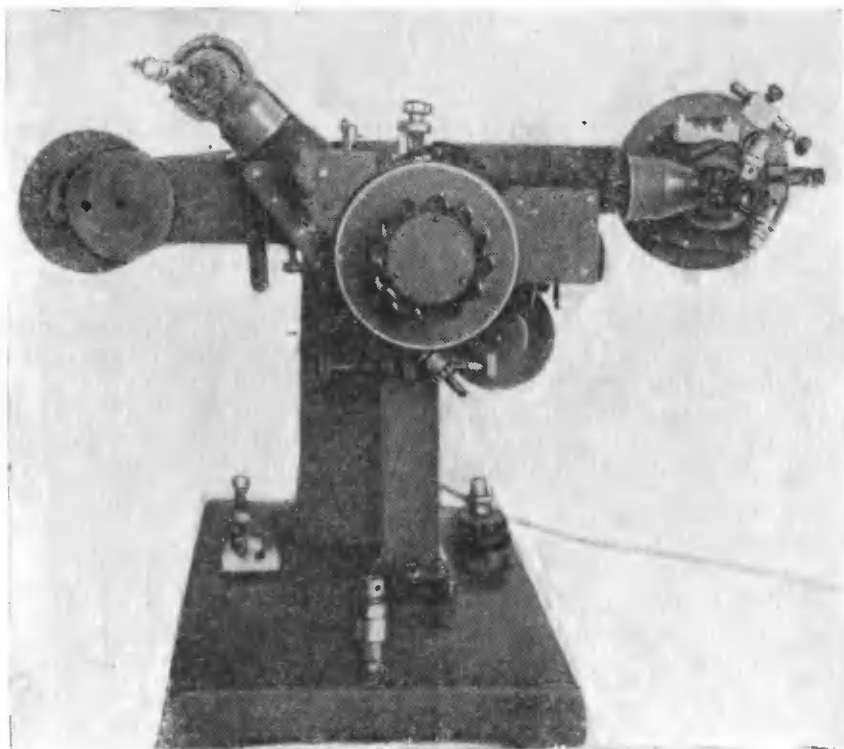


Рис. 40. Юстировочный прибор

танта, во время измерения высоты светила имеется еще личная ошибка наблюдателя, зависящая от навыков наблюдателя в удержании секстанта в руках, от правильного совмещения пузырька уровня со светилом, от расположения их в поле зрения и т. д.

Таким образом, проверив секстант на юстировочном приборе, мы можем только определить, допустима ли его инструментальная ошибка для эксплуатации прибора. После этого секстант надо проверить еще путем измерения высоты действительного светила и обязательно тому, кому придется лично работать с этим секстантом. Наиболее простыми и распространенными способами опреде-

ления поправки секстанта являются два способа: по измерению высоты светила в момент его кульминации и прокладкой на карте линий положения.

Определение поправки секстанта  $C$  по измерению высоты светила в момент его кульминации заключается в сравнении измеренной (отсчитанной по шкалам прибора) высоты светила  $h_{\text{и}}$  в момент его кульминации с вычисленной высотой светила  $h_{\text{в}}$ ; поправка секстанта равна разности этих высот

$$C = h_{\text{в}} - h_{\text{и}}.$$

Вычисленная высота светила в момент ее верхней кульминации определяется по формуле

$$h_{\text{в}} = 90^\circ \pm (\delta - \varphi) + r,$$

где  $\delta$  — склонение светила, берется из ежегодника;

$\varphi$  — широта наблюдателя, берется или из справочника или снимается с карты;

$r$  — поправка за рефракцию, берется из таблицы поправок за рефракцию.

Знак плюс берется в случае, если светило кульминирует к югу от зенита, знак минус — если светило кульминирует между полюсами и зенитом.

Для определения момента верхней кульминации светила надо: — рассчитать гринвичский часовой угол  $t_{\text{гр}}$  по формуле  $t_{\text{гр}} = 360^\circ - \lambda$ , а для звезд рассчитывается гринвичское звездное время  $S_{\text{гр}}$  по формуле

$$S_{\text{гр}} = \alpha - \lambda,$$

где  $\lambda$  — долгота наблюдателя, берется из справочника или снимается с карты;

$\alpha$  — прямое восхождение светила, берется из астрономического или авиационного ежегодника;

— по  $t_{\text{гр}}$  или  $S_{\text{гр}}$  в Астрономическом или авиационном ежегоднике выбрать гринвичское время момента кульминации  $T_{\text{гр}}$ , прибавив к  $T_{\text{гр}}$  номер своего пояса с учетом декретного часа, получим время кульминации по часам своего пояса.

В момент кульминации высота светила изменяется очень медленно, поэтому можно начинать измерения примерно за 3 минуты до момента кульминации и примерно через такое же время после момента кульминации кончать их. Измерив несколько раз высоту светила в этом интервале времени, рассчитав из них среднюю и вычтя ее из вычисленной высоты, мы и получим поправку секстанта.

Определение поправки секстанта прокладкой по карте линий положения заключается в том, что производят серию измерений высоты светила (4—5 измерений), по ним рассчитывают линии положения и наносят их на карту. Затем по кратчайшей линии измеряют

расстояние от своего местоположения до средней из них и переводят его в минуты дуги из расчета: одна морская миля (1,852 км) равна одной минуте. Это и будет поправка секстанта. При этом, если средняя линия положения проходит между местоположением наблюдателя и светилом, знак поправки будет минус; если местоположение наблюдателя находится между линией положения и светилом, знак поправки плюс.

Определенная одним из указанных способов поправка секстанта учитывается при расчете высоты светила.

### Исправление измеренных высот светил

Кроме поправки секстанта, в практике полетов обычно приходится встречаться еще с тремя видами поправок:

- поправка за рефракцию;
- поправка за параллакс Луны;
- поправка за вращение Земли.

**Поправка за рефракцию.** Лучи света, идущие от светила на земную поверхность, преломляются в земной атмосфере. Плотность воздуха, как известно, различна в разных слоях атмосферы: на поверхности Земли она наибольшая, а с поднятием на высоту плотность постепенно уменьшается и на верхней границе атмосферы практически равна нулю.

Луч света, попадая из менее плотной воздушной среды в более плотную, отклоняется к земной поверхности тем больше, чем большую плотность воздуха он встречает на своем пути и чем больше угол падения луча, т. е. угол между вертикалью наблюдателя и направлением на светило. Таким образом, луч света, идущий в безвоздушном пространстве прямолинейно, в земной атмосфере искривляет свой путь. Это искривление увеличивается по мере приближения луча к земной поверхности, вследствие чего мы видим светила всегда выше над горизонтом, чем они есть в действительности.

На рис. 41 для наблюдателя, находящегося в точке  $A$ , светило будет видно в точке  $C_1$ , хотя в действительности оно находится в точке  $C$ .

Очевидно, что и высоты истинного светила  $C$  и видимого  $C_1$  будут разными, причем высота видимого светила будет всегда больше действительной высоты светила. Угол между истинным направлением на светило и его видимым направлением и будет показывать величину рефракции  $r$ , которая всегда вычитается из измеренной высоты светила.

Рефракция зависит от высоты светила и высоты полета. Чем больше высота светила, тем меньше его рефракция и наоборот. Если светило на горизонте, рефракция наибольшая, так как угол падения равен  $90^\circ$  и толща воздуха, через которую проходит луч, наибольшая; если оно в зените, рефракция равна нулю, так как угол падения равен нулю и толща воздуха, через которую проходит луч, наименьшая. С увеличением высоты полета рефракция светила

уменьшается, так как наблюдатель в этом случае встречает луч света до прохождения им наиболее плотных слоев воздуха.

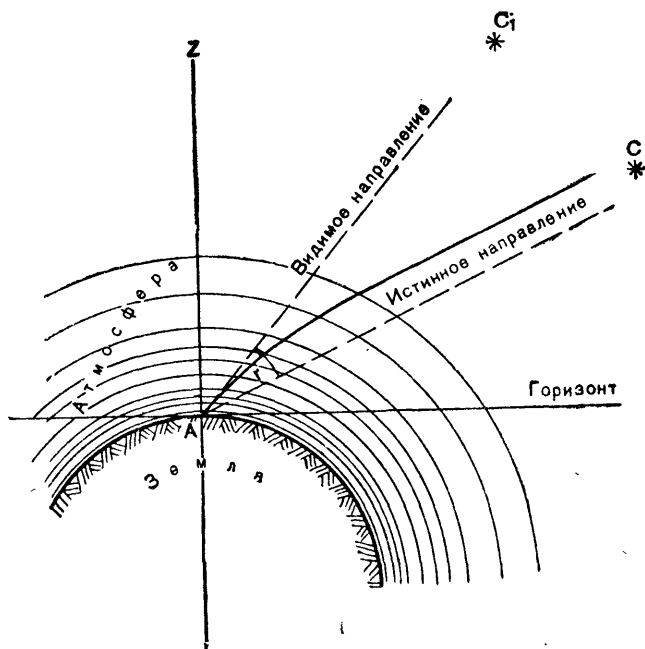


Рис. 41. Рефракция света

В табл. 7 даются поправки за рефракцию, характеризующие величину рефракции в зависимости от высоты светила и высоты полета.

Таблица 7

Высота светила в градусах	Высота полета в км				
	0—1	2—3	4—6	7—10	15
Величина рефракции в минутах					
90	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0
50	1	1	1	0	0
30	2	2	1	0	0
20	3	2	2	1	0
15	4	3	2	2	1
12	4	4	3	2	1
10	5	4	3	2	1
8	6	5	4	3	1
6	8	7	5	3	1
4	12	10	7	5	2
3	14	12	9	6	2
2	18	15	12	8	3

Величина рефракции светила, находящегося на горизонте, при наблюдении его с Земли в значительной мере зависит от состояния атмосферы. В среднем она достигает  $35'$ . Интересно заметить, что рефракция поднимает восходящее или заходящее Солнце примерно на величину его диска (видимый диск Солнца равен  $30'$ ), т. е. восход Солнца фактически начинается после того, как мы уже видим весь его диск поднявшимся над горизонтом.

**Поправка за параллакс Луны.** В Астрономическом авиационном ежегоднике экваториальные координаты небесных светил даются в предположении, что центр небесной сферы совпадает с центром Земли, т. е. даются относительно центра Земли.

Наблюдатель же находится на поверхности Земли. Для большинства светил, удаленных от Земли на огромные расстояния, раз-

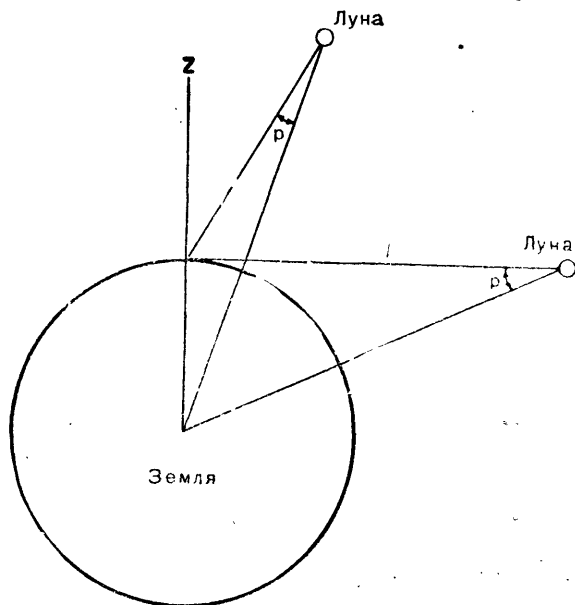


Рис. 42. Параллакс Луны

ница между координатами, измеренными относительно центра Земли или земной поверхности, столь незначительна, что с ней практически не считаются. Но для светил, близких к Земле, эта разница, выражающаяся несовпадением направлений на светило от земной поверхности и от центра Земли, ощутима, и ее необходимо учитывать при измерениях высоты.

Практически в авиационной астрономии эту разность учитывают только для самого близкого к Земле светила — для Луны. Угол между направлением на Луну от центра Земли и от какой-нибудь точки земной поверхности называется параллаксом Луны  $p$ .

Параллакс Луны наибольшее значение имеет, когда Луна находится над горизонтом (от  $54$  до  $61'$ ), с увеличением ее высоты параллакс соответственно уменьшается (рис. 42).

Величина параллакса Луны вследствие непостоянства расстояния между Землей и Луной со временем меняется. Значение параллакса дается в ежегоднике на каждый день года. Параллакс всегда понижает высоту Луны, поэтому поправку за параллакс всегда прибавляют к ее измеренной высоте.

**Поправка за вращение Земли.** Из физики известно, что все перемещающиеся на земной поверхности тела испытывают вследствие вращения Земли, помимо силы тяжести, еще так называемую поворотную, или кориолисову, силу. Для тел,двигающихся в горизонтальной плоскости, кориолисова сила направлена под прямым углом к траектории движения тела: в северном полушарии Земли — вправо, в южном — влево от направления движения. Воздействием кориолисовой силы объясняется, например, размывание правых берегов рек в нашем полушарии, в результате чего правые берега рек бывают крутыми и обрывистыми, а левые пологими: вода, постепенно размывая свой правый берег, как бы отступает вправо.

Другим примером действия кориолисовой силы является большая изнашиваемость правого рельса на двухколейной железной дороге.

При измерении высоты светила в полете на пузырек уровня авиасекстанта, определяющего вертикаль места наблюдения, также действует кориолисова сила, являющаяся следствием вращения Земли. Это воздействие отклоняет пузырек уровня и, следовательно, вносит ошибку в измеренную высоту светила.

Действие кориолисовой силы на пузырек уровня увеличивается с увеличением скорости полета, а также с увеличением широты места полета и совершенно не зависит от курса полета.

Поправки за вращение Земли, выраженные в километрах, характеризуются табл. 8.

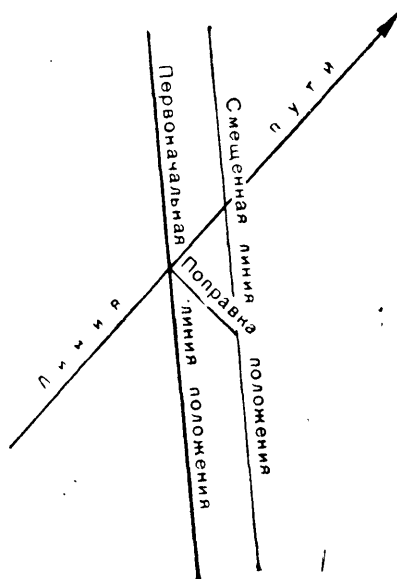
Таблица 8

Скорость полета в км/час	Широта места						
	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
200	3	3	4	5	5	5	5
250	3	4	5	6	6	6	7
300	4	5	6	7	7	8	8
350	5	6	7	8	9	9	9
400	5	7	8	9	10	10	11
450	6	8	9	10	11	12	12
500	7	8	10	11	12	13	13
550	7	9	11	12	14	14	14
600	8	10	12	13	15	16	16

Астрономическую линию положения или место самолета надо смещать вправо от линии пути (в северном полушарии) в перпен-

дикулярном к ней направлении на величину поправки, взятую из этой таблицы.

При этом одна линия положения смещается параллельно самой себе (рис. 43).



**Рис. 43.** Смещение линии положения из-за вращения Земли

Очевидно, что при измерении высоты светила секстантом на земле кориолисова сила не будет действовать на пузырек уровня, так как наблюдатель находится на одном месте, не перемещаясь по земной поверхности.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУРСА САМОЛЕТА

Определение курса самолета является одной из важнейших задач каждого полета. Для этого существуют различные курсовые приборы, называемые компасами. Компасы бывают магнитные, гироскопические, астрономические и др. Наиболее распространенными являются магнитные компасы, стрелки которых определяют направление на магнитный полюс Земли, а следовательно, дают магнитный курс самолета. Для нанесения линии курса на полетную карту магнитный курс переводится в истинный, для чего вводится поправка на магнитное склонение. Точность показания магнитных компасов, не считая инструментальных ошибок прибора, зависит от состояния магнитного поля Земли и электромагнитного поля самолета.

Магнитные аномалии (как, например, Курская) или малая величина горизонтальной составляющей силы земного магнетизма (сила, удерживающая стрелку компаса в направлении на магнитный полюс), в высоких географических широтах значительно снижают точность работы магнитных компасов, а иногда совершенно исключают возможность пользования магнитными компасами в полете.

Влияние железных частей самолета, намагничиваемых магнитным полем Земли и самолета, на магнитную стрелку сказывается в так называемой девиации компаса, которая определяется на каждом самолете и в полете учитывается по графикам девиации.

#### Астрономический компас и его применение

В отличие от других компасов астрономический компас дает возможность определять непосредственно истинный курс самолета, который без всяких поправок наносится на карту. Идея создания солнечного компаса принадлежит русскому авиатору Любичкову (1924 г.), по замыслу которого в дальнейшем этот прибор был сконструирован. Принцип работы современного астрономического компаса, весьма простого по конструкции и не связанного ни с каким агрегатом самолета, основан на определении направления на какое-либо небесное светило: Солнце, Луну, планету или звезду.



Взять направление на светило и определить его курсовой угол, т. е. угол, заключенный между осью самолета и направлением на светило, вообще говоря, можно любым визиром. Для Солнца это можно сделать, используя тень от какого-нибудь вертикального штыря.

Если, например, на самолете поместить круг, разделенный на  $360^\circ$  с нулевым делением вперед по оси самолета, и в центре круга поместить вертикальный стержень, то тень от стержня покажет величину курсового угла Солнца  $\pm 180^\circ$ . На рис. 44 тень падает на деление  $240^\circ$ , значит в этот момент курсовой угол Солнца  $KУ = 240^\circ - 180^\circ = 60^\circ$ .

В основу метода измерения истинного курса самолета по астрокомпасу положено равенство истинного курса (ИК) разности между азимутом светила (А) и его курсовым углом (КУ).

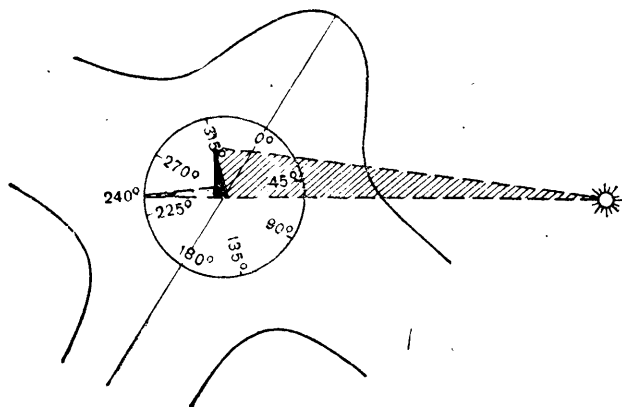


Рис. 44. Определение курсового угла Солнца по тени

На рис. 45 видно, что  $ИК = А - КУ$ .

Зная закономерность суточного вращения светил, мы для любого момента времени можем заранее рассчитать азимут светила, а в полете, измерив курсовой угол светила и вычтя его из величины азимута, мы получим истинный курс самолета.

Суточное вращение небесных светил непараллельно истинному горизонту, а это значит, что непосредственный отсчет направления на светило на горизонтальном круге можно производить только при специальном расчете азимута светила для каждого момента.

Чтобы избежать этих расчетов, используют равномерность суточного вращения светил, для чего в астрокомпасе, помимо устанавливаемого горизонтально курсового лимба, имеется еще круг часовых углов, устанавливаемый по широте места параллельно плоскости небесного меридиана.

Общий вид современного астрономического компаса показан на рис. 46.

В нижней части прибора находится его основание 1, при помощи которого осуществляется закрепление астрокомпа на самолете. К основанию прибора прикреплены уровни 2 и установочные винты 3, служащие для установки прибора в горизонтальное положение. Над основанием прибора на круглой плите помещается вращающийся курсовой лимб 4 с градусными делениями от 0 до 360°, по которому производится отсчет курса против риски 5 с надписью «Курс». К курсовому лимбу прикреплены две стойки 6, удерживающие кольцо 7 с корпусом часового механизма 8. Корпус часового

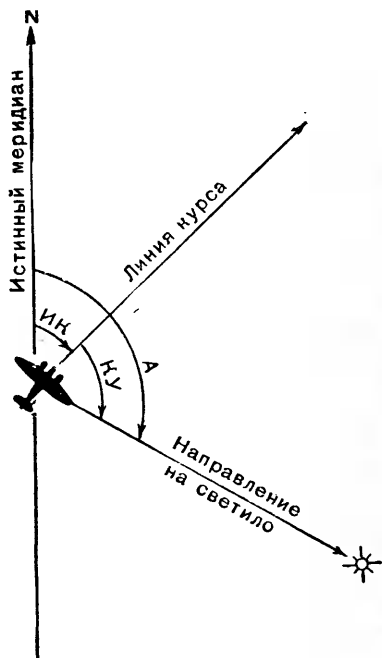


Рис. 45. Соотношение истинного курса самолета с азимутом и курсовым углом светила

механизма с закрепленной на нем верхней частью прибора может свободно вращаться вокруг своей оси. Он устанавливается на величину географической долготы пролетаемой местности по шкале долгот 9, нанесенной на ободке корпуса, и по установочному индексу на кольце.

Шкала долгот нанесена от 0 до 180° в обе стороны и оцифрована через 10°. Для восточных долгот шкала имеет белую окраску, для западных — красную.

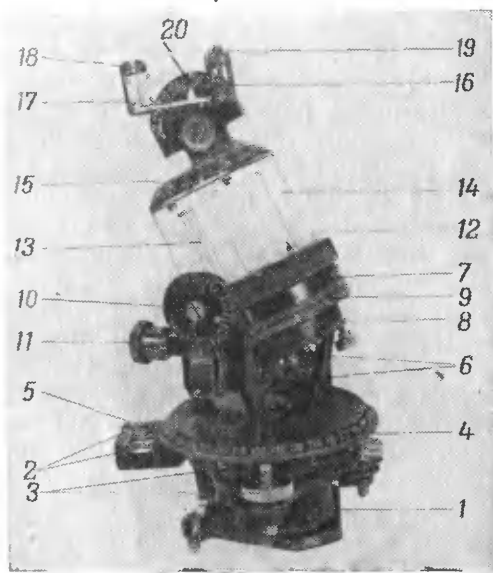


Рис. 46. Астрономический компас:

1 — основание компаса; 2 — уровни; 3 — установочные винты; 4 — курсовой лимб; 5 — риска отсчета; 6 — стойки; 7 — кольцо; 8 — часовой механизм; 9 — шкала долгот; 10 — шкала десятков градусов широты; 11 — шкала градусных делений широты; 12 — цилиндрическая линза; 13 — полупрозрачный экран; 14 — прозрачный цилиндрический колпак; 15 — шкала часовых углов; 16 — перекладина; 17 — полупрозрачный экран; 18 — линза; 19 — прорезь; 20 — шкала склонений

На одной из стоек 6 смонтирован механизм установки широты, в который входит шкала десятков градусов 10, имеющая три ряда делений с оцифровкой от 0 до 90°, и шкала градусных делений широты 11, имеющая два ряда цифр. Белая оцифровка на этих шкалах относится к северным географическим широтам, красная — к южным. Установка десятков и единиц градусов широты производится поворотом шкал до совмещения их показаний с соответствующими установочными индексами.

На часовом механизме имеется шкала часовых углов (на рисунке не видно), разделенная на 360° и оцифрованная в направлении хода часовой стрелки. На этой шкале роль часовой стрелки выполняет визирная рамка, которая определяет направление на Солнце. С одной стороны этой рамки имеется цилиндрическая линза 12, через которую проходят лучи Солнца, с другой — полупрозрачный экран 13, на котором между двумя параллельными линиями проектируются лучи Солнца в виде световой полосы («зайчика»).

Визирная рамка связана с часовым механизмом, который вращает ее соответственно изменению часового угла Солнца. Поэтому, раз установив начальный часовой угол Солнца, больше в процессе полета можно к нему не возвращаться. Солнечная визирная система закрыта прозрачным цилиндрическим колпаком 14, над которым находится визирная система для звезд. Шкала часовых углов этой визирной системы 15 является повторением шкалы часовых углов для визирной системы Солнца с дополнительной второй оцифровкой (красного цвета), нанесенной в обратном порядке для работы в южном полушарии. Над шкалой часовых углов 15 укреплена вторая визирная рамка, при помощи которой можно определять направление на светило либо по тени от перекладки 16 на полупрозрачный экран 17, либо непосредственным наблюдением светила через край обреза линзы 18 и прорезь 19.

Для определения направления на светило по этой визирной рамке ее устанавливают на величину склонения светила по шкале склонений 20.

Визирная система для звезд не связана с часовым механизмом, поэтому при пользовании ею, помимо установки долгот и широт места, необходимо еще для каждого случая определения курса устанавливать на шкале часовых углов соответствующий гринвичский часовой угол светила.

Астрономический компас устанавливается на самолете так, чтобы на него попадали лучи наблюдаемых светил. Для этого его ставят или под специальным небольшим астрокуполом, или, если астрокупол на самолете нет, — перед остеклением кабины.

При укреплении астрокомпасов добиваются строгой параллельности между осью самолета и линией, проходящей через риски прибора с надписью «Курс» и «Курс  $\pm 180^\circ$ », при этом риска с надписью «Курс» должна быть направлена в сторону хвостовой части самолета.



Таким образом, в методе измерения курса самолета ошибка практически исключается, в результате чего астрокомпас дает возможность просто и весьма точно определить и выдержать курс самолета. Современный астрокомпас дает возможность измерить истинный курс самолета с точностью  $1-2^\circ$ , т. е. не ниже точности любого другого компаса и вполне достаточной для самолетовождения.

### Определение девиации магнитного компаса и радиодевиации по астрокомпасу

Определить девиацию магнитного компаса по астрокомпасу можно как на земле, так и в полете. Она выводится как разность между истинным курсом, определенным по астрокомпасу, и курсом, определенным по магнитному компасу, исправленному на магнитное склонение.

$$\Delta_k = ИК - (КК + \Delta_m),$$

где  $\Delta_k$  — девиация магнитного компаса;

$\Delta_m$  — магнитное склонение;

КК — компасный курс.

При определении девиации на земле самолет последовательно устанавливается на различные курсы, на которых снимаются показания астрокомпаса и магнитного компаса, и по вышеприведенной формуле рассчитывается девиация для этих курсов.

При определении девиации в воздухе по астрокомпасу самолет последовательно выполняет полет на необходимом количестве равноотстоящих курсов.

Схема курсов обычно строится по замкнутой ломаной линии. Причем, если скорость самолета небольшая, примерно до  $300 \text{ км/час}$ , берут один замкнутый маршрут, если скорость больше  $300 \text{ км/час}$ , чтобы не отходить далеко от намеченного ориентира, берут две замкнутые ломаные линии маршрута (рис. 48).

На каждом курсе самолет следует 2—2,5 минуты, в течение которых экипаж самолета производит 4—5 отсчетов показаний магнитного компаса, определяет из них средний компасный курс и записывает его. Записывает также и истинный курс, снятый с астрокомпаса. Потом для каждого курса рассчитывается девиация магнитного компаса и строится график девиации, поправки с которого учитываются в полете при определении курса самолета по магнитному компасу.

Астрокомпас может быть также применим и для определения радиодевиации как на земле, так и в воздухе.

Радиодевиация  $\Delta_p$  показывает разность между фактическим курсовым углом радиостанции (КУР) и отсчетом по радиокомпасу или радиополукомпасу (ОРК) и выражается формулой

$$\Delta_p = КУР - ОРК.$$

При определении радиодевииции на земле надо вначале снять с карты истинный пеленг радиостанции (ИРП) — угол, заключенный между северным направлением истинного меридиана и направлением на радиостанцию, потом настроить радиокомпас (радиополукомпас) на эту радиостанцию и установить самолет, начиная

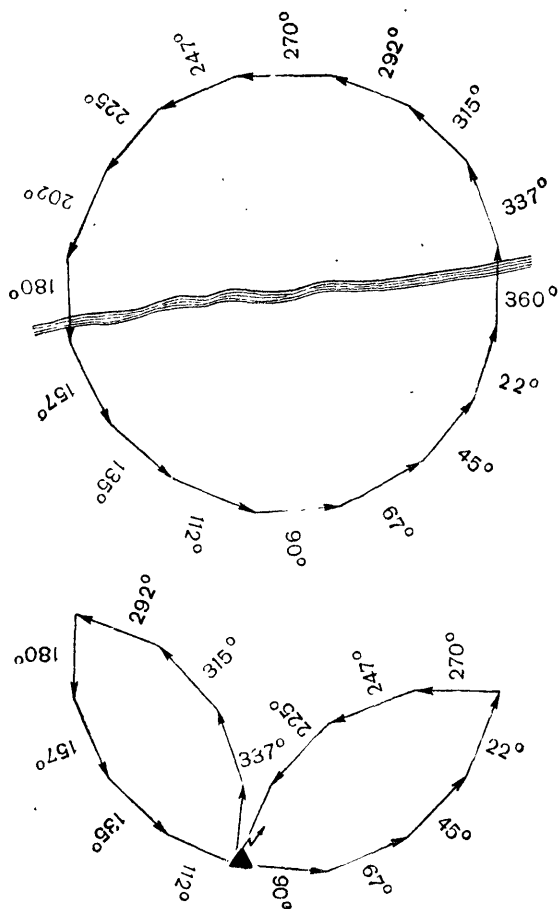


Рис. 48. Примерные схемы курсов при списывании девиации по астрокомпасу

с 0°, последовательно на двадцать четыре ОРК, отличающихся один от другого на 15°. На каждом из направлений самолета отсчитать истинный курс самолета по астрокомпасу и соответствующее значение ОРК.

По ИПР и ИК рассчитать фактические КУР по формуле

$$\text{КУР} = \text{ИПР} - \text{ИК}$$

и определить радиодевiation как разность между КУР и ОРК. После этого построить график радиодевiation.

Для определения радиодевiation в воздухе надо еще до полета выбрать характерный ориентир, вблизи которого будет происходить определение радиодевiation, определить ИПР относительно места определения радиодевiation, рассчитать ИК самолета для 24 курсовых углов радиостанции и составить схему курсов.

В полете вывести самолет на намеченный ориентир, уточнить настройку радиокompаса (радиополукомпыаса), установить самолет на первый ИК согласно схеме курсов и отсчитать ОРК. На каждом последующем курсе также вести отсчет ОРК.

После полета по ИК и ИПР рассчитать КУР для моментов снятия ОРК, определить радиодевiation как разность между КУР и ОРК и составить график радиодевiation. Поправки и графики радиодевiation используются в полете при расчетах радиопеленгов.

---

---

---

## 5. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРАН СВЕТА И ВРЕМЕНИ ПО НЕБЕСНЫМ СВЕТИЛАМ

Человек лишен чувства ориентировки в пространстве, поэтому с незапамятных времен люди стараются восполнить этот недостаток применением различных средств и приспособлений, а также используя для этого и глазомерные определения.

Умение ориентироваться в пространстве и времени глазомерно с применением простейших расчетов в уме полезно каждому человеку в повседневной жизни, тем более это необходимо летчику и штурману в полете, когда он должен в каждом отдельном случае уметь оценить свои визуальные наблюдения и достоверность полученных по приборам навигационных измерений, чтобы не допустить грубой ошибки.

Штурманский глазомер и расчеты в уме в авиации имеют весьма большое значение.

Например, рассчитав радиопеленг и проложив его на карте, штурман должен, зная хоть примерно свое место, прикинуть, правили ли полученный радиопеленг.

Глазомерное определение и расчеты в уме при достаточной натренированности в них могут быть надежным вспомогательным средством для контроля определений, полученных при помощи различных технических средств, и в целом для осуществления самолетовождения.

Если, например, при полете над районом магнитной аномалии, где магнитный компас работает неустойчиво и других средств для определения курса на самолете нет, а также нет надежных линейных ориентиров, то летчик может, отметив глазомерно положение Солнца относительно курса полета (курсовой угол Солнца), в течение некоторого времени грубо выдержать направление полета, пилотируя самолет так, чтобы сохранять отмеченный первоначально курсовой угол Солнца. Но после пролета района магнитной аномалии потребуется уточнение своего места и может быть некоторое исправление курса, что зачастую бывает все же более приемлемо, чем, например, на короткое время с малой высоты забираться на высоту 2000—3000 м, где влияние магнитной аномалии практически не сказывается на работе магнитного компаса.



Небесные светила как на земле, так и в воздухе могут быть весьма успешно использованы для глазомерной ориентировки.

По ним можно без специальных приборов определить время и направление, а зная одно направление, легко определить искомое. Например, мы определили направление на юг. Если стать лицом к югу, то у нас будет слева восток, справа запад, сзади север. Приемы глазомерной ориентировки весьма просты и при достаточной натренированности они дают хорошие результаты. Для глазомерной ориентировки могут быть успешно использованы Солнце, Луна и звезды.

### Ориентирование по Солнцу

Солнце в полдень бывает на юге, а за полные сутки, т. е. за 24 часа, оно делает полный оборот на  $360^\circ$ .  $\frac{1}{24}$  часть окружности составляет  $15^\circ$ ; значит, за каждый час Солнце проходит  $15^\circ$ .

Для определения угловой величины на небе можно использовать видимый диск Солнца (Луны), который имеет в диаметре примерно  $\frac{1}{2}^\circ$ , или угол между лучами зрения, идущими от глаза через концы разведенных большого и указательного пальцев вытянутой руки, который у большинства людей примерно равен  $16^\circ$ . Следовательно, за 1 час Солнце переместится по небу на величину, равную примерно 30 своим дискам, или одному раствору большого и указательного пальцев. Очевидно, что за 6 часов до полдня Солнце бывает примерно на востоке, а через 6 часов после полдня — на западе. Ввиду того, что в нашей стране введен декретный час, то полдень по нашим часам будет не около 12 часов, а около 13 часов (1 час на циферблате). Поэтому Солнце примерно будет:

- на востоке в 7 часов;
- на юге в 13 часов;
- на западе в 19 часов.

Зная время, можно примерно определить по Солнцу и страны света и, наоборот, зная направление стран света, можно натренироваться определять время по положению Солнца с точностью до пол часа. Удобно страны света определять по Солнцу и часам (рис. 49). Для этого надо, держа перед собой часы, поворачивать их в горизонтальной плоскости так, чтобы часовая стрелка была направлена в то место горизонта, над которым находится Солнце. Тогда прямая, идущая из центра циферблата и делящая пополам угол между часовой стрелкой и цифрой 1 на циферблате, укажет направление на юг.

Если известно более точно время полдня в месте наблюдения, то надо брать середину между часовой стрелкой и временем полдня. Например, в Москве в истинный полдень часы показывают 12 ч. 30 м., значит, определяя в Москве страны света по Солнцу, направление на юг считать между часовой стрелкой и серединой цифр 12 и 1 на циферблате.

Этот способ дает менее точные результаты в низких широтах. В низких широтах (например, на Кавказе, в Средней Азии) для

достижения наибольшей точности можно применить несколько видоизмененный прием.

На юге часы надо держать не горизонтально, а наклонить к горизонту под углом  $40^{\circ}$ — $50^{\circ}$  (для широт  $50^{\circ}$ — $40^{\circ}$ ).

Найдя на циферблате середину дуги между часовой стрелкой и цифрой 1 на циферблате, приложить к этому месту спичку пер-

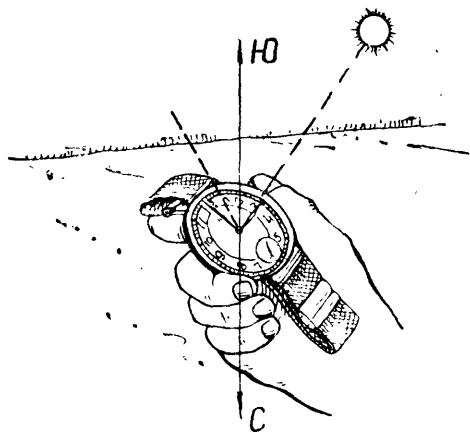


Рис. 49. Определение стран света по Солнцу и часам

пендикулярно к циферблату, как показано на рис. 50. Не изменяя положения часов относительно горизонта, поворачиваться вместе с ними до тех пор, пока тень от спички окажется направленной

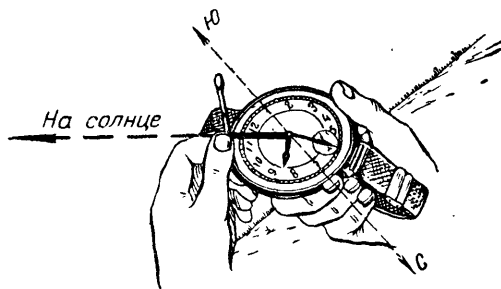


Рис. 50. Определение стран света по Солнцу и часам в низких широтах

к центру циферблата. В этот момент цифра 1 на циферблате будет показывать направление на юг.

### Ориентирование по Луне

Каждый месяц, точнее, каждые 29,5 суток, Луна повторяет все свои фазы. При этом иногда она бывает видна даже днем, а иногда не видна и ночью. В новолуние она совсем не видна, затем

появляется в виде узкого серпа, своею выпуклостью обращенного вправо. Чтобы узнать, в какой фазе Луна, нужно мысленно соединить концы серпа прямой линией; если получится буква Р (рост), это значит, что Луна растет. Когда же Луна убывает, то ее серп выпуклой стороной обращен влево и своим видом напоминает букву С (сход). Луна в первой четверти появляется на западе у самого заходящего Солнца и вскоре вслед за Солнцем заходит. С каждым следующим вечером серп Луны утолщается и время нахождения ее на небе увеличивается. Через неделю после новолуния заход Солнца застает Луну на юге и она до полуночи освещает Землю. Через две недели при заходе Солнца на востоке появляется полный диск Луны, в полночь она занимает самое высокое положение, находясь над точкой юга, и заходит с восходом Солнца, переместившись в противоположную сторону от него — на запад.

Полная Луна находится на небе всю ночь.

Через несколько ночей Луна начинает постепенно убывать. Через три недели после новолуния Луна снова видна в виде полудиска, но выпуклостью влево — это последняя четверть Луны. В это время она восходит около полуночи, примерно на востоке и к утру доходит до точки юга. К концу четвертой недели тонкий серп Луны появляется на востоке перед самым восходом Солнца. Последующие 4—5 дней Луна совсем не появляется на небосводе, затем снова появляется в виде тонкого серпа. Местоположение Луны на небосводе в зависимости от ее четверти и времени суток приводится в табл. 9.

Таблица 9

Фазы Луны	В 19 часов	В 1 час	В 7 часов
Первая четверть . . . . .	На юге	На западе	Не видна
Полнолуние . . . . .	На востоке	На юге	На западе
Последняя четверть . . . .	Не видна	На востоке	На юге

Страны света в табл. 9 даются приближенно, а более точно их можно определить по Луне и часам. Для этого надо радиус диска Луны глазомерно разделить на шесть равных частей и определить, сколько таких частей содержится в поперечнике видимого серпа Луны. Если Луна прибывает, то полученное число вычесть из часа наблюдения, если Луна убывает — прибавить к часу наблюдения. Полученная сумма или разность укажет час, когда в том направлении, где сейчас находится Луна, будет находиться Солнце, а значит, определив этот час и принимая Луну за Солнце, мы можем найти направление на юг так же, как это делается по Солнцу и часам, только направлять на Луну нужно не часовую стрелку, а то место на циферблате, которое соответствует вновь полученному часу.

Например (рис. 51), время наблюдения 5 ч. 30 м., видимая часть Луны в поперечнике содержит примерно десять шестых долей своего радиуса. Луна убывает (видна левая часть диска). Значит, Солнце на месте Луны будет в 15 ч. 30 м. (5 ч. 30 м. + 10 часов). Установив это деление на часах (на циферблате это будет 3 ч. 30 м.) в направлении на Луну и проведя прямую линию от центра циферблата между указанным делением и цифрой 1 на циферблате, мы получим направление на юг.

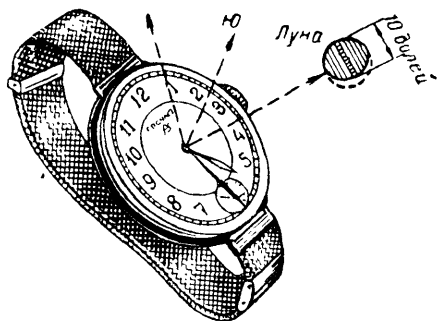


Рис. 51. Определение стран света по Луне и часам

Очевидно, что если это наблюдение будет проводиться в период полнолуния, когда виден весь диск Луны, то, прибавляя к часу наблюдения или вычитая из него 12 (что соответствует 12 долям радиуса диска), мы не изменим отсчет на циферблате часов. В этом случае часовую стрелку надо непосредственно наводить на Луну так же, как и на Солнце.

### Ориентирование по звездам

В безоблачную ночь проще всего ориентироваться по Полярной звезде, всегда указывающей направление на север.

Полярную звезду, как указывалось, легко найти по созвездию Большой Медведицы.

По взаимному расположению Большой Медведицы и Полярной можно также определять время. Созвездие Большой Медведицы, как и все звезды, совершает свой суточный оборот вокруг полюса мира, обращаясь на  $360^\circ$  за 24 часа, т. е. за 1 час на  $15^\circ$ .

Представим себе громадный циферблат на небе с центром в Полярной звезде, с цифрой 6, расположенной внизу циферблата над точкой севера, и с часовой стрелкой, проходящей от Полярной звезды через две крайние звезды ковша Большой Медведицы (рис. 52). Если смотреть на север, то вращение Большой Медведицы происходит против часовой стрелки и наша часовая стрелка, во-первых, будет двигаться в направлении, обратном движению стрелки обычных часов и, во-вторых, передвижение ее на «небесном циферблате» за один час будет соответствовать двум часам, так как полный оборот на  $360^\circ$  она делает не за 12 часов, а за 24.

Для определения времени надо:

— на этом воображаемом циферблате отсчитать показание небесной стрелки (на рисунке 5,5 часа);

— определить номер месяца от начала года с десятичными долями месяца (каждые три дня считать за одну десятую долю месяца) (например, 18 ноября выразится цифрой 11,6);

— полученное число сложить с показанием небесной стрелки и умножить на два  $(5,5 + 11,6) \cdot 2 = 34,2$ ;

— вычтя это число из постоянной величины 55,3, которую надо запомнить, мы получим время в данный момент; в нашем примере  $55,3 - 34,2 = 21,1$ , т. е. 21 ч. 6 м., или примерно 9 часов вечера.

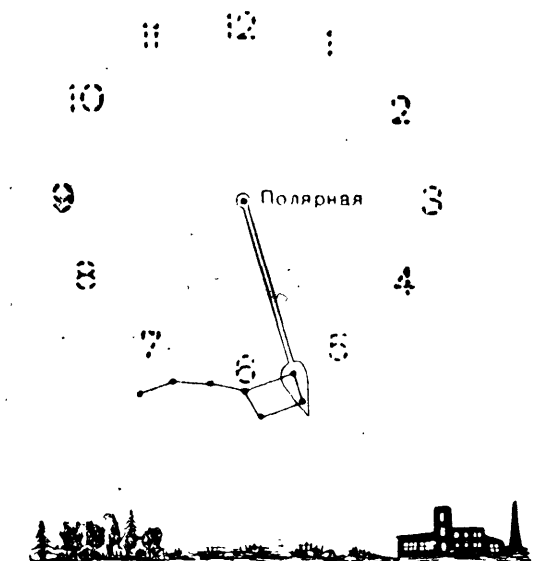


Рис. 52. Определение времени по звездам

Если после вычитания получится число больше 24, то из него надо вычесть 24.

## 6. ПРИМЕНЕНИЕ АСТРОНОМИИ В САМОЛЕТОВОЖДЕНИИ

Самолетовождение осуществляется совместным действием экипажа по определению местонахождения своего самолета и направлению его к намеченной цели полета. При этом основными задачами экипажа являются: точное выполнение полета по установленному маршруту, вывод самолета к цели полета в назначенное время и вывод самолета на аэродром посадки.

Для решения этих задач экипаж в полете использует различные технические средства самолетовождения, имеющиеся на самолете, полетные карты, таблицы и другие справочные пособия, а также средства земного обеспечения самолетовождения. При помощи различных средств самолетовождения экипаж производит необходимые навигационные измерения и расчеты и выдерживает установленный навигационный режим полета, т. е. курс самолета, скорость и высоту полета.

Технические средства самолетовождения разделяют на общенавигационные, радиотехнические и астрономические.

Общие навигационные средства самолетовождения включают в себя: магнитный и гироскопический компасы, указатель скорости, часы, бортовой визир и барометрический высотомер. Радиотехнические средства самолетовождения охватывают всю навигационную радиотехническую аппаратуру и оборудование как самолетное, так и наземное. Астрономические средства самолетовождения включают в себя аппаратуру, работающую на принципе измерения направления на небесные светила.

При применении общенавигационных и астрономических средств самолетовождения экипаж использует самолетные навигационные приборы и устройства, не связанные с работой средств земного обеспечения самолетовождения, расположенных на Земле, так как применяемая в этом случае техника автономна, независима от Земли. Применяемые же радиотехнические средства самолетовождения, как правило, требуют использования средств земного обеспечения самолетовождения и, следовательно, не являются автономными, а, за редким исключением, зависят от Земли.

Самолетовождение во всех случаях полета выполняется совместным применением всех имеющихся в распоряжении экипажа технических навигационных средств. Применение различных средств самолетовождения зависит от навигационной и тактической обста-

новки полета, т. е. от метеорологических условий, времени года и суток, видимости небесных светил, дальности и задачи полета и т. п.

В каждом конкретном случае условий полета экипаж должен определить, какие средства самолетовождения наиболее надежны и точны, и в зависимости от этого строить штурманский план полета и осуществлять самолетовождение. Очевидно, что общенавигационные средства, работа которых совершенно независима ни от наземных устройств, ни от видимости неба, могут быть применены почти в любых условиях полета.

Радиотехнические средства самолетовождения наиболее целесообразно применять при полетах вне видимости земных ориентиров или при отсутствии этих ориентиров, т. е. главным образом при полетах в облаках, за облаками, ночью, над морем. Радиотехнические средства дают возможность весьма успешно применять их для выхода на свой аэродром, а некоторые из них обеспечивают и точный выход на намеченную цель полета.

При самолетовождении с использованием астрономических средств небесные светила должны быть видимы. Это является основным недостатком этих средств. Но при видимости небесных светил эти средства дают возможность определять курс полета и место самолета с постоянной точностью, которая не зависит ни от пролетаемой местности, ни от пройденного расстояния и времени полета. Благодаря этим свойствам астрономические средства применяются с наибольшим успехом в условиях дальних полетов над облаками, над морем, ночью. Особо большое значение астрономические средства приобретают при полетах в высоких географических широтах, где визуальная ориентировка может применяться как редкое исключение, где магнитные компасы вследствие малой горизонтальной составляющей силы земного магнетизма работают ненадежно. Применение радиотехнических средств самолетовождения в высоких широтах также иногда сопряжено с трудностями, так как северные сияния и сопровождающие их магнитные возмущения препятствуют нормальному прохождению радиоволн. А применение магнитного компаса в высоких широтах затрудняется из-за близости к магнитному полюсу.

О значении астрономии при полетах в высоких широтах известные штурманы Герои Советского Союза А. В. Беляков и И. Т. Спирин говорят следующее.

А. В. Беляков, характеризуя свой полет в экипаже В. П. Чкалова через Северный полюс, отмечает, что при полете до Северного полюса применение астрономических средств сочеталось с другими средствами самолетовождения, место полюса определялось по высоте Солнца, равной его склонению. Участок полета от Северного полюса до американского материка осуществлялся в основном выдерживанием курса по солнечному указателю курса, с контролем пути по астрономическим линиям положения самолета, определяемым по высотам светил. В своей книге «Из Москвы в Америку через Северный полюс» А. В. Беляков пишет: «...самый важный прибор на нашем самолете — солнечный указатель курса».

И. Т. Спирин в своей книге «Полеты в Арктике» пишет: «...Астрономическая аппаратура должна быть в центре внимания как во время дневных полетов, так и при полетах полярной ночью...»

Достоинством астрономических средств самолетовождения является также и то, что работа с ними не демаскирует полет самолета, так как невозможно создать искусственные помехи экипажу при применении им астрономических приборов, чего нельзя сказать о применении радиотехнических средств.

Для решения любой из задач самолетовождения экипаж обязан сохранять ориентировку, т. е. знать, где он находится, и определять данные для расчета и контроля заданного режима полета.

Для ведения ориентировки экипаж в полете периодически определяет место самолета. Оно может быть определено или отметкой момента пролета какого-либо естественного или искусственного ориентира, или пересечением линий положения самолета, полученных при помощи каких-либо средств самолетовождения, например визуальных пеленгов, линий равных радиопеленгов, линий равных расстояний, линии равных разностей расстояний, линий равных высот светил (астрономических линий положения) и др. Место самолета определяется пересечением как одноименных линий положения, так и разноименных в любой их комбинации. Линия положения, проложенная на карте, указывает, что самолет в данный момент находится где-то на этой линии, а в какой именно точке — неизвестно. Пересечение же двух-трех линий положения, приведенных к одному моменту времени, показывает, что самолет находился именно в точке пересечения линий положения (практически в районе пересечения линий положения, так как каждая из них определена с какой-то ошибкой). Точность, с которой экипаж определяет место самолета в полете, характеризуется величиной отклонения полученного на карте места самолета от истинного места самолета, т. е. вертикальной проекции его на земную поверхность в момент определения места самолета. Точность определения места самолета и в целом выполнения самолетовождения зависит от подготовки к полету экипажа, материальной части и от умения экипажа грамотно использовать в полете имеющиеся в его распоряжении все средства самолетовождения.

### **Подготовка к полету**

Подготовка к полету имеет целью сократить до минимума объем работы в воздухе и облегчить ее выполнение. Это особенно относится к применению астрономических средств в полете, так как астрономические расчеты по определению навигационных элементов весьма трудоемки и требуют твердых навыков в их применении. Подготовка к полету с применением астрономических средств самолетовождения проводится одновременно с общей подготовкой по самолетовождению.

Еще задолго до полета штурман должен твердо усвоить сущность видимого движения небесных светил, уметь находить аэро-



навигационные звезды на небе и натренироваться в астрономических измерениях и расчетах.

Личная тренировка каждого, кто хочет успешно применять авиационную астрономию в полете, имеет исключительно большое значение. Астрономические авиационные приборы сами по себе весьма точные, но высокая точность работы с ними достигается только в результате тренировки. Это особенно касается работы с авиасекстантом, точность измерения высот светил которым зависит во многом от натренированности органов чувств и главным образом зрения. Например, для совмещения и удержания светила в центре пузырька уровня в поле зрения секстанта требуется навык, достигаемый только практической тренировкой. На самолете часто приходится принимать весьма неудобное положение для измерения высоты светила секстантом, приспособляясь к прохождению луча света от светила через остекление кабины. Точность таких измерений достигается также только хорошей тренировкой в работе с прибором.

Астрономические расчеты сами по себе несложны, они состоят из выборки табличных данных и довольно простых арифметических действий по сложению и вычитанию. Но эти расчеты весьма разнообразны и трудоемки, требуют внимания и твердого знания порядка действий, без чего в расчетах можно легко допустить ошибки.

В результате систематической тренировки в измерениях и расчетах штурман должен довести свои действия до того, чтобы в процессе работы не задумываться над правильностью того или другого действия и не гадать над тем, когда что делать и в каком порядке производить расчеты. Весь процесс этой работы для него должен представляться единым комплексом, с установившейся и заранее оттренированной последовательностью действий. Готовясь непосредственно к полету с применением астрономических средств, штурман должен подготовить приборы, карту, расчетные пособия и рабочее место в самолете.

Подготовка приборов заключается главным образом в выверке работы секстанта, выверке хода часов и проверке установки астрокомпасов на самолете.

Проверка работы авиасекстанта с определением его поправки производится не перед каждым полетом, а периодически, если, конечно, не было каких-либо позреждений его перед полетом. При сложных и ответственных полетах проверять секстант рекомендуется перед каждым полетом одним из указанных ранее способов.

Ввиду того, что в ошибку секстанта входит личная ошибка наблюдателя, в полет надо брать только тот секстант, который проверен лично тем, кому с ним придется работать. Если предстоит полет ночью, то необходимо еще проверить подсветку прибора от бортовой сети или от специальной сухой батареи, имеющейся в комплекте секстанта.

Обеспечение полета точным временем — одна из важнейших задач штурмана во время подготовки к полету. Вообще каждый штурман должен постоянно изучать ход своих личных часов с тем, чтобы знать особенности их хода в различных положениях и в различных

температурных условиях. Непосредственно перед полетом он должен проверить их по радиосигналам точного времени или по слиточительным часам, определить их поправку, а также рассчитать и записать поправку часов на время полета. Точность отсчета момента времени для применения астрономии в полете требуется в пределах 5—6 секунд, поэтому для средней продолжительности полета обычно бывает достаточным определить среднюю поправку для времени полета и ею пользоваться при астрономических расчетах.

Подготовка астрокомпаса к полету заключается в проверке правильности установки его линии «Курс» и «Курс  $\pm 180^\circ$ » по оси самолета и для дневного полета в заводе часового механизма и установке солнечной визирной рамки на величину  $t_{гр}$  для данного момента, рассчитанную по Ежегоднику и округленную до целого градуса. Если установка астрокомпаса относительно продольной оси самолета вызывает сомнение, она легко проверяется при помощи девиационного пеленгатора, для чего, пеленгуя самолет «в хвост», определить его магнитный курс и, исправив его на магнитное склонение, снятое с карты, рассчитать истинный курс. После этого определить истинный курс по Солнцу астрокомпасом. Если полученные величины в обоих случаях одинаковы, значит астрокомпас установлен правильно, если же получилась разница, то следует установить значение истинного курса, полученного по девиационному пеленгатору, на курсовом лимбе астрокомпаса и, ослабив винты установочного стакана, подвести световую полосу на середину экрана солнечной визирной рамки и закрепить установочный стакан винтом. После этого штурман может быть уверен, что астрокомпас установлен правильно.

Для применения в полете астрономических средств самолетовождения наиболее удобной является карта масштаба 1 : 2 000 000 или 1 : 2 500 000, которая может служить также штурману и для самолетовождения. Можно также пользоваться и обычной полетной картой. Подготовка карты к полету состоит в оцифровке меридианов и параллелей (чтобы можно было пользоваться картой, не разворачивая ее) и нанесении рисок по параллелям в районе полета через каждые 10' долготы (рис. 53). Такая подготовка сокращает время на определение координат места самолета в полете и упрощает нанесение на карту числимой точки, необходимой для определения астрономической линии положения.

Подготовка к полету расчетных пособий определяется временем суток и районом полета, в котором должен происходить полет, выбором небесных светил, которые могут быть использованы в полете. В зависимости от этого берется с собой нужная часть ТВА или ТВАЗ и на день полета вырывается из ААЕ соответствующий лист и также берется с собой в полет. Для ночных полетов полезно также взять с собой бортовую карту звездного неба (БКН), предварительно нанеся на нее положение планет по схеме перемещения планет из Ежегодника. Положение планет надо наносить на БКН даже и в том случае, когда не предполагается их использовать в полете, чтобы они не запутали при отыскании на небе нужных созвездий и звезд. По БКН, установив ее подвижную часть на время

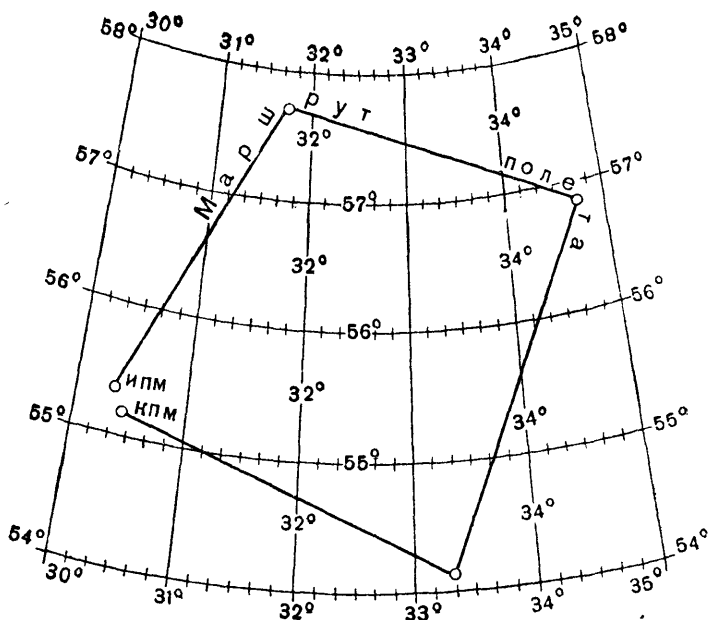


Рис. 53. Подготовка карты для применения в полете астрономических средств

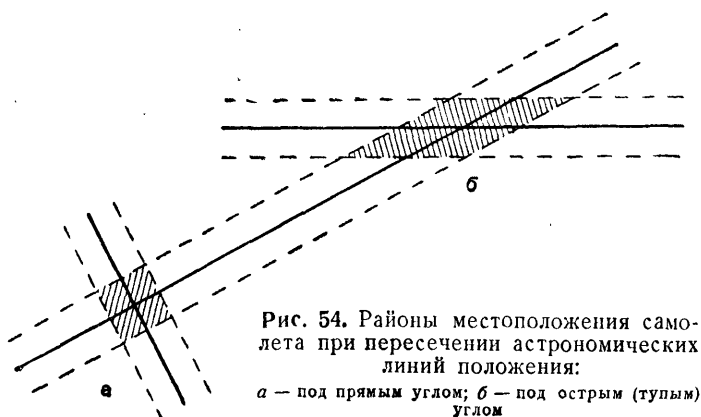


Рис. 54. Районы местоположения самолета при пересечении астрономических линий положения:

а — под прямым углом; б — под острым (тупым) углом

полета, штурман может прикинуть, на каком участке пути, какие звезды или планеты ему лучше использовать в полете, руководствуясь при этом возможностью наблюдения их с самолета и углом пересечения между линиями азимутов светил (что соответствует углу между линиями положения самолета). Этот угол должен быть в пределах 50—130°. Это объясняется тем, что каждая линия положения определяется с какой-то ошибкой и фактически линия положения превращается в полосу положения. Место самолета, определенное пересечением двух линий положения, фактически дает не

точку положения, а район, величина которого зависит от угла между линиями положения. Чем ближе угол между линиями положения к прямому углу, тем меньше район возможного местоположения самолета и наоборот (рис. 54).

Если принять площадь, получаемую при пересечении линии положения под углом  $90^\circ$ , равной единице, то площади, полученные при пересечении этих линий под другими углами, будут выражены так, как показано в табл. 10.

Таблица 10

Угол между линиями положения	$90^\circ$	$60^\circ$ $120^\circ$	$50^\circ$ $130^\circ$	$40^\circ$ $140^\circ$	$30^\circ$ $150^\circ$	$20^\circ$ $160^\circ$	$10^\circ$ $170^\circ$
Величина площади . .	1	1,2	1,4	1,7	2	3	6

Угол между линиями азимутов от  $50$  до  $130^\circ$  берется как условие, при котором можно считать точность полученного места самолета удовлетворительной.

Для дневного полета штурман также заранее должен определить, на каких участках пути он сможет и на каких не сможет измерить высоту Солнца и Луны (если она будет видна днем). Это определяется по положению Солнца и Луны относительно линии пути в разное время дня. Если, например, наблюдение может быть осуществлено только в передней и боковые стекла кабины, то при полете в середине дня Солнце можно наблюдать на южных, восточных и западных курсах, при полетах же северными курсами оно будет невидно. Надо также определить разность азимутов Солнца и Луны, чтобы оценить целесообразность совместного определения их высот.

Штурман также должен запастись для полета бланками расчета астрономических линий положений, а если их нет, то изготовить самому по форме, указанной на стр. 103.

После подготовки к полету приборов и расчетных пособий штурман должен подготовить свое рабочее место в самолете: расположить секстант, карты, расчетные пособия так, чтобы ими удобно было пользоваться в воздухе; проверить, не загрязнены ли стекла, через которые придется измерять светила.

В целях сокращения времени для астрономических расчетов в полете можно производить астрономические предвычисления еще до полета, на земле. Они заключаются в том, что, зная день и время полета, в районе полета намечается какая-то счислимая точка и для этой точки по ее координатам рассчитываются азимуты и вычисленные высоты светила на весь предвычисленный период времени через 8 или 16 минут<sup>1</sup>.

В полете несовпадение времени между предвычисленным моментом и моментом фактического измерения высоты светила уstra-

<sup>1</sup> Интервалы времени в 8 или 16 минут берутся потому, что они кратны 4, а 4 минуты равны  $1^\circ$  угла, чем значительно упрощаются расчеты.

няется путем смещения счислимой точки по долготе (расчетом или графически на карте) на величину разности этих моментов, выраженную в дуговой величине.

После этого для получения астрономической линии положения штурману остается только рассчитать  $\Delta h$  — разность между измеренной высотой светила и вычисленной.

Предвычисления производятся на специальном бланке, который в дальнейшем берется в полет, и на нем же в полете заканчивается расчет элементов астрономической линии положения.

Разберем на примере форму и порядок расчета на бланке предвычислений для дневного полета.

Допустим, предполагался полет 20 июня 1951 г. В полете намечались астрономические определения Солнца в период с 6.40 до 7.30. Высота  $H = 4000$  м, поправка секстанта  $C = -1'$ .

Наметив счислимую точку в районе полета с  $\varphi_n = 52^\circ$ ,  $\lambda_n = 37 - 38^\circ$ , затем для этих данных производим расчет вычисленной высоты и азимута светила для всех расчетных моментов времени.

$T$	6.40	6.48	6.56	7.04	7.12	7.20	7.28	7.36
$T_{изм}$			6.54,20				7.28,55	
$\Delta T$			+1м. 40с.				—55с.	
$\lambda_n$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$	$37^\circ 18'$
$\Delta T^\circ$			+25'				—14'	
$\lambda_\phi$			$36^\circ 43'$				$37^\circ 04'$	
$\varphi_n$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$	$52^\circ$
$h_{изм}$			$22^\circ 22'$				$26^\circ 51'$	
$h_{в_1}$	$19^\circ 31'$	$20^\circ 43'$	$21^\circ 55'$	$23^\circ 07'$	$24^\circ 18'$	$25^\circ 32'$	$26^\circ 46'$	$27^\circ 59'$
$\Delta h$			+27'				+5'	
$\Delta h_{км}$			+50				+9	
$A$	$77^\circ$	$78^\circ$	$80^\circ$	$81^\circ$	$83^\circ$	$84^\circ$	$86^\circ$	$87^\circ$

На этом бланке:

$T$  — предвычисленный момент измерения высоты светила.

$T_{\text{изм}}$  — фактический момент измерения светила.

$\Delta T$  — алгебраическая разность моментов предвычисленного и фактического измерения ( $\Delta T = T - T_{\text{изм}}$ ).

$\lambda_{\text{п}}$  — приближенная долгота счислимой точки, выбирается, как правило, средняя для маршрута, на котором намечены астрономические определения.

$\Delta T^{\circ}$  —  $\Delta T$ , переведенная в дуговые единицы.

$\lambda_{\text{ф}}$  — приближенная долгота счислимой точки, перенесенная на величину  $\Delta T^{\circ}$ , т. е.

$$\lambda_{\text{ф}} = \lambda_{\text{п}} + \Delta T^{\circ}.$$

$\varphi_{\text{п}}$  — приближенная широта счислимой точки, выбирается средняя для маршрута, выраженная четным числом градусов.

$h_{\text{изм}}$  — измеренная высота светила, снятая с секстанта

$h_{\text{в}_1}$  — вычисленная высота светила по ТВА и исправленная на  $r$  и  $s$  (с обратным знаком).

$\Delta h$  — разность высот измеренной и вычисленной в угловых величинах.

$$(\Delta h = h_{\text{изм}} - h_{\text{в}_1}).$$

$\Delta h_{\text{км}}$  —  $\Delta h$ , переведенная в километры.

$A$  — азимут светила, найденный из ТВА (всегда восточный).

До полета полностью заполняются следующие горизонтальные графы:

$T$  — через 8 или 16 минут на весь период астрономических определений.

$\lambda_{\text{п}}$  — рассчитывается с помощью ежегодника так же, как показано на стр. 107.

$\varphi_{\text{п}}$  — всегда в четной величине градусов.

$h_{\text{в}_1}$  — для первого предвычисленного момента рассчитывается по ТВА, как показано на стр. 107, с учетом поправок секстанта и за рефракцию, которые прибавляются к полученной величине с обратным знаком; для последующих предвычисленных моментов определяется в ТВА по величине изменения высоты светила

за каждые 2 или 4° часового угла (изменяется на разность высот, соответствующих часовым углам, измененным на 2 или 4°).

А — выписывается из ТВА вместе с высотами светила.

После такого предварительного расчета в полете остается сделать немного.

Измерив высоту светила и отметив момент измерения, записать  $T_{\text{изм}}$  под значением  $T$ , ближайшим к измеренному, и в этой же колонке записать  $h_{\text{изм}}$ .

Определить разность моментов времени предвычисленного и измерения  $\Delta T$  и, переведя его в угловую величину  $\Delta T^\circ$ , определить фактическую долготу счислимой точки  $\lambda_\phi^1$ .

Определить разность высот измеренной и вычисленной и перевести ее в километры  $\Delta h_{\text{км}}$ . По  $A$  и  $\Delta h_{\text{км}}$  от смещенной счислимой точки  $\varphi_n$ ,  $\lambda_\phi$  провести астрономическую линию положения.

В нашем примере на бланке произведен полный расчет для двух моментов фактических измерений: 6 ч. 54 м. 20 с. и 7 ч. 28 м. 55 с.

Астрономические предвычисления значительно сокращают время расчетов в полете. Сами предвычисления после некоторой тренировки в среднем занимают около 5 минут, зато расчет в воздухе сокращается в 3—4 раза и, как правило, не превышает 1—1,5 минуты.

При особо дальних полетах только одна счислимая точка может внести недопустимые ошибки, вызванные значительным удалением от нее астрономической линии положения. В этом случае можно произвести расчет для двух и более счислимых точек. В среднем можно считать, что одна счислимая точка достаточна для района в пределах 6° широты и 10° долготы.

Для ночного полета астрономические предвычисления готовятся в основном по той же схеме. Дополнительно рассчитывается примерное время нахождения самолета на отрезках маршрута и по БКН выбираются звезды, удобные для измерения на участках маршрута в расчетное время. Определив время, в пределах которого намечаются астрономические определения, рассчитываются предвычисленные моменты измерения через 8 или 16 минут. Далее расчет производится аналогично расчету для дневного полета.

---

<sup>1</sup>  $\lambda_\phi$  можно определить и графически непосредственно на карте, для чего разность моментов времени надо отложить по широте от  $\lambda_n$ : при положительной величине — к востоку, при отрицательной — к западу. В этом случае на карте полезно заранее сделать разметку по широте от счислимой точки через одну минуту времени, что соответствует 15 минутам дуги.

# ФОРМЫ БЛАНКОВ ДЛЯ РАСЧЕТОВ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ

Для Солнца, Луны и планет

Дата	H=		W=		ПУ=	
	Светило				Светило	
$T$			$h_{\text{и}}$			
$-N$			$C$			
$T_{\text{гр}}$			$-r$			
$t_{\text{гр}}$ за часы			$+p$			
$t_{\text{гр}}$ за мин. и сек.			$h$			
$t_{\text{гр}}$			$h_{\text{в}}$			
$\lambda_{\text{п}}$			$\Delta h$			
$t_{\text{в}}$			$\Delta h_{\text{км}}$			
$\varphi_{\text{п}}$			$A_{\text{табл. нав.}}$			
$\delta$						

Для двух звезд

Дата	H=		W=		ПУ=	
	Звезды				Звезды	
$T$			$h_{\text{и}}$			
$-N$			$C$			
$T_{\text{гр}}$			$-r$			
$S_{\text{гр}}$ за часы			$h$			
$S_{\text{гр}}$ за мин. и сек.			$h_{\text{в}}$			
$S_{\text{гр}}$			$\Delta h$			
$\lambda_{\text{п}}$			$\Delta h_{\text{км}}$			
$S$			$A$			
$\varphi_{\text{п}}$						

Для звезды и Полярной

Дата		H=		W=		ПУ=	
Звезда . . . . .				Полярная			
$T$		$h_{\text{и}}$		$h_{\text{пол}}$			
$-N$		$C$		$C$			
$T_{\text{гр}}$		$-r$		$-r$			
$S_{\text{гр}}$ за часы				$D$			
$S_{\text{гр}}$ за мин. и сек.		$h$		$\Delta\varphi_{\text{пол}}$			
		$h_{\text{в}}$		$\varphi$			
$S_{\text{гр}}$		$\Delta h$					
$i_{\text{п}}$		$\Delta h_{\text{км}}$					
$S$		$A$					
$\varphi_{\text{п}}$							



Основной порядок работы экипажа по самолетовождению складывается из следующих последовательно выполняемых этапов:

- выход на исходный пункт маршрута (ИПМ);
- выход на линию пути;
- контроль пути;
- исправление пути при отклонениях;
- выход на конечный пункт маршрута (КПМ).

При выполнении боевой или специальной задачи экипаж, помимо этого, еще должен подготовить навигационные данные для выполнения поставленной задачи, обеспечить выход на цель и после выполнения задачи обеспечить выход на исходный пункт обратного маршрута (ИПОМ) для последующего следования к КПМ.

Выход на ИПМ, ввиду незначительной его удаленности от аэродрома, как правило, осуществляется без применения астрономических средств, а чаще всего по земным ориентирам, магнитному компасу или, если за ИПМ выбрана приводная радиостанция, выход на приводную радиостанцию осуществляется по радиокompасу (радиополукомпасу).

Начиная от ИПМ, астрономические средства могут применяться по всему маршруту.

При подходе к ИПМ штурман рассчитывает истинный курс следования от ИПМ и устанавливает его на курсовом лимбе астрокомпас, затем выход на линию пути осуществляется разворотом самолета до тех пор, пока луч света от выбранного небесного светила не будет в створе визирной рамки.

Следуя по маршруту, штурман может использовать астрокомпас в зависимости от условий полета или как основной курсовой прибор, или как дублирующий (для контроля), если условия полета позволяют успешно использовать для самолетовождения магнитный компас. Для определения истинного курса по астрокомпасу при дневном полете, когда часовой механизм заведен и солнечная визирная рамка установлена на гринвичский часовой угол, еще перед полетом штурман обязан:

- установить на соответствующих шкалах значения широты и долготы местонахождения самолета в данный момент;
- установить по уровню прибор в горизонтальное положение;
- подвести изображение Солнца («зайчик») на середину экрана между двумя рисками и на курсовом лимбе против индексов «Курс» прочесть истинный курс самолета.

В процессе дальнейшего полета штурману остается только устанавливать новые значения широты и долготы места полета и в любой момент, установив визирную рамку также в створе луча Солнца, он может прочесть истинный курс самолета.

При ночном полете в астрокомпасе используется визирная система для звезд по определению истинного курса по звездам, планетам и Луне. Визирная система для звезд не связана с часовым

механизмом, поэтому установка гринвичского часового угла производится для каждого определения истинного курса.

Порядок работы при этом таков:

— определить по Ежегоднику для момента наблюдения гринвичский часовой угол и склонение выбранного светила и установить их на соответствующих шкалах визирной системы для звезд;

— установить долготу и широту местонахождения самолета на соответствующих шкалах прибора;

— приведя астрокомпас в горизонтальное положение, вращать курсовой лимб до тех пор, пока светило будет в створе со звездной визирной рамкой;

— прочесть на курсовом лимбе истинный курс самолета.

При наблюдении звезды (планеты) она визируется через верхний обрез линзы и прорезь с рисками на рамке так, чтобы она была видна на воображаемом пересечении рисок (или несколько выше или ниже его по вертикальной линии), но не в стороне от нее (рис. 55).

При визировании Луны можно также использовать тень от перекладины на экране рамки. При необходимости непрерывно контролировать курс по астрокомпасу в ночном полете, чтобы не рассчитывать каждый раз гринвичский часовой угол, можно, рассчитав его для одного момента и зная, что изменение часового угла происходит за 4 минуты времени на  $1^\circ$ , периодически вводить поправку, для чего можно даже составить маленькую табличку.

Например, для какого-нибудь светила:

в 21 ч. 40 м.  $t_{rp} = 280^\circ$ ;

в 21 ч. 44 м.  $t_{rp} = 281^\circ$ ;

в 21 ч. 48 м.  $t_{rp} = 282^\circ$ ;

в 21 ч. 52 м.  $t_{rp} = 283^\circ$

и т. д.

Показания истинного курса по астрокомпасу находятся на самом приборе, они не видны летчику, который ведет самолет, поэтому непосредственно выдержать курс по астрокомпасу он не может.

При использовании в полете астрокомпаса как основного курсового прибора выдерживание направления осуществляется по гиropolукомпасу, периодически вводя в него поправки от астрокомпаса. Гиropolукомпас удобен тем, что по нему удобно выполнять разворот самолета и выдерживать направление полета в течение примерно 15 минут без значительных ошибок. После этого он требует уточнения заданного курса полета.

Опыт полетов показывает, что использование астрокомпаса в сочетании с гиropolукомпасом дает прекрасные результаты в любых условиях полета, лишь бы было видно небесное светило.

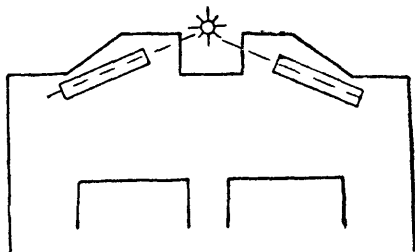


Рис. 55. Правильное положение светила в прорезе рамки астрокомпаса

При полетах в высоких географических широтах, в направлениях, отличных от меридионального, и особенно близких к восточному или западному, происходит быстрое изменение долготы на маршруте; постоянно вводить ее изменение и тем более в зависимости от этого изменять курс самолета практически нет возможности. В таких случаях по карте определяют средний меридиан между начальной и конечной точками участка маршрута и его значение устанавливают на астрокомпасе. Широту также берут среднюю — в точке пересечения среднего меридиана с участком маршрута, устанавливают ее на астрокомпасе и не меняют на всем участке маршрута.

Во всяком полете экипаж контролирует путь своего полета с тем, чтобы определить соответствие заданной линии пути с фактической линией пути самолета и при обнаруженных значительных отклонениях последней своевременно исправить курс следования.

Даже при самом точном расчете и выдерживании курса самолета и скорости полета самолет, как правило, уклоняется от заранее намеченной линии полета. Это происходит потому, что ветер, действуя на летящий самолет, изменяет его скорость и направление полета. В результате воздействия ветра самолет летит с так называемой путевой скоростью, представляющей сумму вектора воздушной скорости самолета и вектора ветра; направление полета самолета также не совпадает с курсом самолета, а в зависимости от скорости и направления ветра отклоняется от курса на величину угла сноса. Точно учесть ветер, а особенно при полете за облаками весьма трудно, так как он непостоянен и меняется в зависимости от времени, места и высоты полета. В результате неточного учета ветра в полете и неточности расчета и выдерживания заданного режима полета самолет несколько отходит от заданной линии пути и обязанностью экипажа является определить его отклонение и направить самолет так, чтобы выйти в заданное место в назначенное время.

Контроль пути производится в зависимости от условий полета или по сличению карты с пролетаемыми земными ориентирами или определением линии положения, места самолета при помощи различных средств самолетовождения.

Одним из таких средств является авиасекстант, который дает возможность при невидимости земли по измеренной высоте светила определить линию положения самолета. Для определения линии положения штурман, измерив высоту какого-либо светила, на заранее подготовленном бланке производит расчет элементов астрономической линии положения (линии равных высот): азимута и разности высот светила, или широты, если измеряется высота Полярной, и по ним на карте прокладывает линию положения. Самая трудоемкая работа при этом — это расчет элементов линии положения, причем правильность и быстрота расчета во многом зависят от порядка расчета. Для уяснения этого разберем примеры вычисления элементов астрономической линии положения, являющиеся одновременно и схемами вычисления.

По характеру расчетов их можно разделить на три вида вычислений:

- по Солнцу, Луне и планетам;
- по звездам;
- по Полярной.

### СХЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СОЛНЦУ

(для Луны и планет схема такая же)

Пример для 10 апреля 1952 г.

№ по пор.	Порядок работы	Содержание работы	Обозначения	Вычисления
1	1	Записать время измерения светила, учтя поправку часов и половину интервала времени осреднения секстантом . . . . .	$T$	13 ч. 32 м. 10 с.
2	3	Записать номер часового пояса с учетом декретного часа . . . . .	$-N$	-6
3	4	Рассчитать гринвичское время (сумма $T$ и $N$ ) . . . . .	$T_{гр}$	7 ч. 32 м. 10 с.
4	5	Из ААЕ выписать значение гринвичского часового угла . . . . .	$t_{гр}$	$292^{\circ}41'$
5	7	Определить и записать приближенную долготу (чтобы в сумме с $t_{гр}$ было целое четное число градусов) . . . .	$\lambda_{п}$	$37^{\circ}19'$
6	8	Сложив $t_{гр}$ с $\lambda_{п}$ , получить местный западный часовой угол . . . . .	$t_w$	$330^{\circ}$
7	9	Если $t_w$ получилось больше $180^{\circ}$ , то перевести его в восточный . . . . .	$t_E$	$30^{\circ}$
8	10	Определить и записать приближенную широту в четной величине градусов . . . . .	$\varphi_{п}$	$48^{\circ}$
9	6	Из ААЕ выписать склонение светила . . . . .	$\delta$	$+8^{\circ}-02'$
10	2	Записать измеренную высоту светила . . . . .	$h_{и}$	$42^{\circ}50'$
11	11	Записать поправку секстанта . . . . .	$C$	$+5'$
12	12	Выписать из ТВА поправку за рефракцию . . . . .	$-r$	$-1'$
13	13	Если измеряется Луна, то выписать для нее из ААЕ поправку за параллакс . . . . .	$+p$	—
14	14	Вычислить исправленную высоту (учесть все поправки) . . . . .	$h$	$42^{\circ}54'$
15	15	Из ТВА по $\delta$ , $t$ и $\varphi_{п}$ найти и выписать вычисленную высоту светила . . . . .	$h_{в}$	$42^{\circ}36'$
16	17	Определить разность высот $\Delta h = h - h_{в}$ и перевести ее в километры . . . . .	$\Delta h$	$+18' = +33 \text{ км}$
17	16	Из ТВА выписать азимут светила (при западном часовом угле перевести его в навигационный, взяв дополнение к табличному до $360^{\circ}$ ) . . . . .	$A$	$138^{\circ}$ — табличн. $138^{\circ}$ — навигац.

№ по пор.	Порядок работы	Содержание работы	Обозначения	Вычисления
18	18	От считаемой точки на карте (координаты $\varphi_n, \lambda_n$ ) проложить азимут светила, равный $138^\circ$ , и перпендикулярно ему провести астрономическую линию положения на удалении 33 км в сторону светила, так как $\Delta h$ получилась с плюсом (рис. 56)		

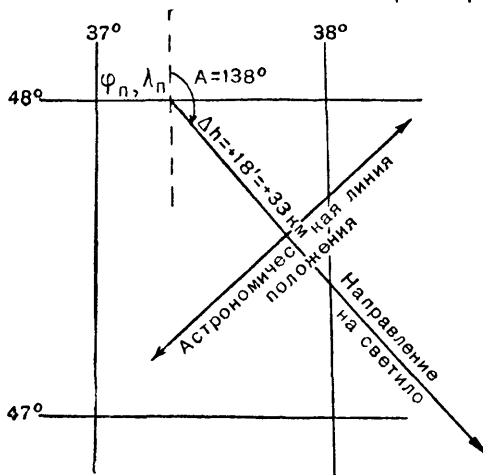


Рис. 56. Прокладка астрономической линии положения на карте при  $\Delta h$  положительной

### СХЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ЗВЕЗДЕ

Пример для 5 сентября 1952 г. (Капелла)

№ по пор.	Порядок работы	Содержание работы	Обозначения	Вычисления
1	1	Записать время измерения звезды, учтя поправку часов и половину интервала времени определения секстантом	$T$	22 ч. 04 м. 52 с.
2	3	Записать номер часового пояса с учетом декретного часа . . . . .	$-N$	-4
3	4	Рассчитать гринвичское время (сумма $T$ и $N$ ) . . . . .	$T_{гр}$	18 ч. 04 м. 52 с.
4	5	Из ААЕ выписать гринвичское звездное время . . . . .	$S_{гр}$	$256^\circ 00'$
5	6	Определить и записать приближенную долготу (чтобы в сумме с $S_{гр}$ было целое число градусов) . . . . .	$\lambda_n$	$68^\circ 00'$
6	7	Сложив $S_{гр}$ и $\lambda_n$ , получить местное звездное время . . . . .	$S$	$324^\circ$

№ по пор.	Порядок работы	Содержание работы	Обозначения	Вычисления
7	8	Определить и записать приближенную широту в четной величине градусов	$\varphi_{\text{п}}$	$74^{\circ}$
8	2	Записать измеренную высоту светила	$h_{\text{и}}$	$37^{\circ}20'$
9	9	Записать поправку секстанта . . . . .	$C$	$-2'$
10	10	Выписать из ТВАЗ поправку за рефракцию . . . . .	$-r$	$-1'$
11	11	Вычислить исправленную высоту (учесть все поправки) . . . . .	$h$	$37^{\circ}17'$
12	12	Из ТВАЗ по $S$ и наименованию звезды выписать вычисленную высоту .	$h_{\text{в}}$	$37^{\circ}45'$
13	14	Определить разность высот $\Delta h = h - h_{\text{в}}$ и перевести ее в километры . . . . .	$\Delta h$	$-28' = -52 \text{ км}$
14	13	Из ТВАЗ выписать азимут звезды . .	$A$	$53^{\circ}$
15	15	От счислимой точки на карте (координаты $\varphi_{\text{п}}, \lambda_{\text{п}}$ ) проложить азимут звезды, равный $53^{\circ}$ , и перпендикулярно ему провести линию положения на удалении 52 км в сторону, противоположную направлению на звезду, так как $\Delta h$ получилась с минусом (рис. 57) . . . . .		

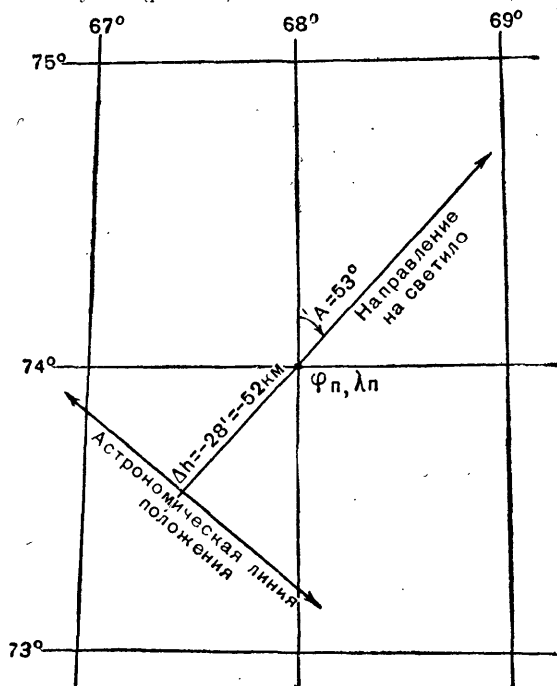


Рис. 57. Прокладка астрономической линии положения на карте при  $\Delta h$  отрицательной

СХЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПОЛЯРНОЙ  
(определение широты места по Полярной)

Пример для 16 июня 1953 г.

№ по пор.	Порядок работы	Содержание работы	Обозначения	Вычисления
1	1	Записать время измерения Полярной, учтя поправку часов и половину интервала времени осреднения секстантом . . . . .	$T$	21 ч. 48 м. 15 с.
2	3	Записать номер часового пояса с учетом декретного часа . . . . .	$-N$	-3
3	4	Рассчитать гринвичское время (сумма $T$ и $N$ ) . . . . .	$T_{гр}$	18 ч. 48 м. 15 с.
4	5	Из ААЕ выписать гринвичское звездное время . . . . .	$S_{гр}$	$186^{\circ}46'$
5	6	Определить и записать приближенную долготу (чтобы в сумме с $S_{гр}$ было целое число градусов) . . . . .	$\lambda_n$	$46^{\circ}14'$
6	7	Сложив $S_{гр}$ и $\lambda_n$ , определить местное звездное время . . . . .	$S$	$233^{\circ}$
7	2	Записать измеренную высоту Полярной . . . . .	$h_n$	$54^{\circ}28'$
8	8	Записать поправку секстанта . . . . .	$C$	$+2'$
9	9	Выписать из ТВАЗ поправку за рефракцию . . . . .	$-r$	$-2'$
10	10	Выписать из ТВАЗ по величине $\delta$ и широте (за широту принять округленную величину $h_n$ ) поправку к высоте Полярной . . . . .	$\Delta\varphi_{пол}$	$+53'$
11	11	Определить широту места как сумму $h_n$ и всех поправок . . . . .	$\varphi$	$55^{\circ}21'$

Проложенная широта места  $\varphi = 55^{\circ}21'$  на карте и будет являться астрономической линией положения (рис. 58).

Порядок работы, изложенный в этих схемах, предусматривает вначале измерение высоты светила, потом запись времени измерения полученной высоты светила и последующий расчет элементов линии положения. Для сокращения времени между моментом измерения высоты и прокладкой линии положения на карте можно заранее наметить момент измерения и для него подготовить и записать в бланк все расчетные данные, кроме зависимых от измеренной высоты светила, т. е. в общем случае, кроме  $h_n$ ,  $r$ ,  $p$ ,  $h$ ,  $\Delta h$  и  $\varphi$ . После того как заблаговременно произведен предварительный расчет, штурману надо подготовиться к измерению высоты и начать измерение (нажать пусковой рычаг часового механизма секстанта) раньше намеченного времени измерения, за половину интервала времени осреднения секстанта, чтобы намеченный момент

времени для измерения совпал с моментом времени середины интервала осреднения.

После измерения ему остается записать измеренную высоту и закончить оставшийся расчет элементов линии положения, чтобы так же, как и в первом случае, проложить ее на карте<sup>1</sup>.

Выбирая светило для наблюдения, штурман уже заранее должен представить себе, как ляжет линия положения относительно линии пути, помня, что астрономическая линия положения всегда располагается перпендикулярно направлению на светило. В дневном полете выбор ограничен: наблюдать можно только Солнце и иногда еще Луну. В ночном же полете у штурмана большой выбор светил и от его умения правильно выбрать светило будет зависеть точность контроля пути по направлению или по дальности, требуемая в данное время полета. Очевидно, что когда светило видно справа или слева относительно самолета, астрономическая линия положения ляжет примерно параллельно линии пути, и в этом случае ее можно использовать для контроля пути по направлению, т. е. определить, куда отклоняется самолет от линии пути. Если светило впереди или имеется возможность измерить светило, находящееся сзади самолета, то линия положения ляжет примерно перпендикулярно линии пути, и ее можно использовать для контроля пути по дальности, т. е. определить, какой рубеж прошел самолет в данный момент (рис. 59).

Линия положения или место самолета, определенные при помощи астрономических средств, имеют постоянную точность, не зависящую от времени и дальности полета. В среднем считается, что астрономическая линия положения определяется с точностью 6—8 км и место самолета с точностью 8—10 км. Точность определения места самолета другими средствами самолетовождения зависит от пройденного расстояния (при использовании общих средств само-



Рис. 58. Прокладка астрономической линии положения на карте по высоте Полярной

<sup>1</sup> Если по каким-либо причинам высота светила измеряется несколько раньше или позже намеченного момента времени, то ошибку за счет несовпадения фактического времени измерения с ранее намеченным необходимо устранить путем переноса счислимой точки по долготу. Величина переноса будет равна разности времени между намеченным и фактическим временем измерения, переведенным в минуты дуги (4 секунды времени = 1 минуте дуги). При опоздании измерения восточную долготу надо уменьшить, при опережении — увеличить (для западных долгот — наоборот). В остальном расчет элементов астрономической линии положения остается прежним.



летовождения) или от удаления радиостанции (при радиопеленгации). В этих случаях точность равна примерно 5% пройденного расстояния от последнего контрольного ориентира или от расстояния до радиостанции. Следовательно, на расстоянии примерно до 200 км точность этих средств выше астрономических, а начиная с 200 км, они по точности начинают уступать астрономическим средствам. Очевидно, что на удалении примерно до 200 км от ИПМ авиасекстант применять нецелесообразно, так как другие технические средства дают на этом участке пути большую точность самолетовождения. Начиная же с 200 км от ИПМ, авиасекстант надо применять даже при наличии недалеко от маршрута радиостанции для

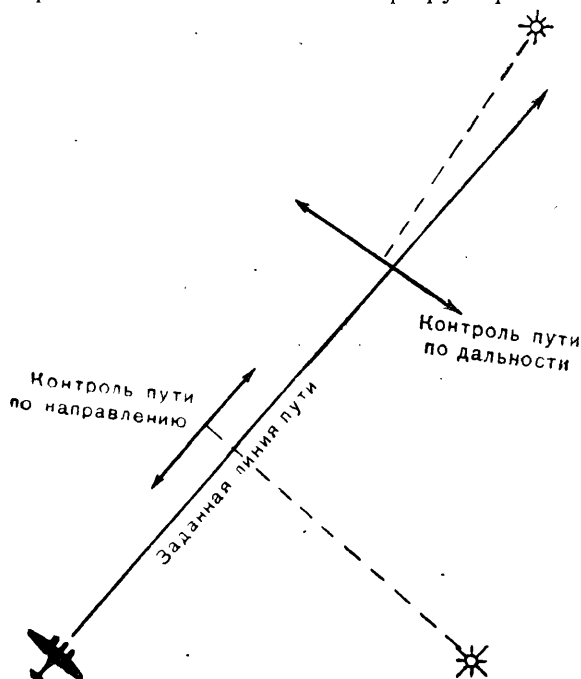


Рис. 59. Использование астрономической линии положения для контроля пути

дублирования определения своего местоположения или, что чаще бывает, в сочетании с радио и другими средствами самолетовождения.

Искусство работы штурмана в полете зависит от умения выбрать более рациональные средства самолетовождения для данных условий полета и сочетать применение наиболее подходящих из них, обеспечивающих наибольшую точность самолетовождения по участкам маршрута. В практике полетов весьма успешно зарекомендовало себя определение места самолета по сочетанию астрономической линии положения с линией радиопеленга (или с линией визуального пеленга удаленного ориентира) и с линейным ориентиром на земной поверхности.

Для определения места самолета при помощи астрономических средств и радиопеленгации штурман в любой последовательности определяет и наносит на карту линию радиопеленга или, если радиостанция находится на большом удалении, линию равных радиопеленгов и астрономическую линию положения. Потом смещением одной из них приводит их к одному моменту времени и получает место самолета для этого момента так же, как это делается при получении места самолета по двум астрономическим линиям положения.

Например, радиопеленг получен в 15 ч. 00 м., а астрономическая линия положения в 15 ч. 06 м. Самолет летит со скоростью

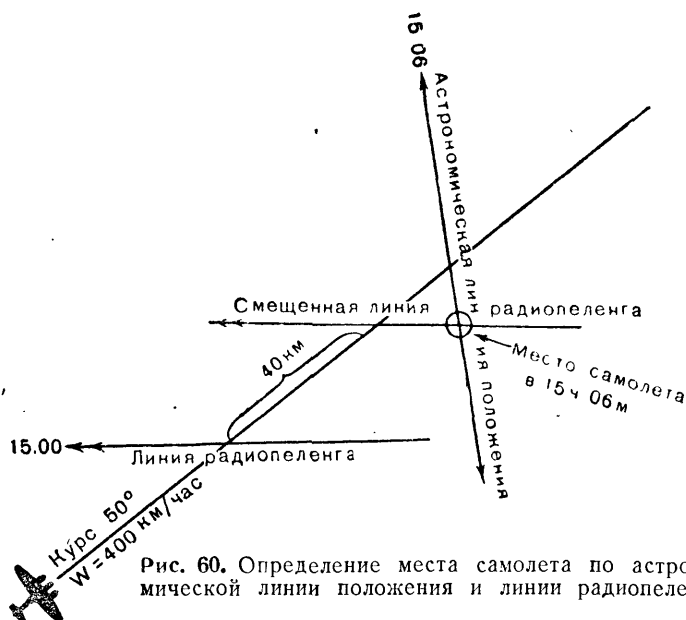


Рис. 60. Определение места самолета по астрономической линии положения и линии радиопеленга

400 км/час по курсу  $50^\circ$ . Надо обе линии положения привести к последнему моменту измерения, т. е. к 15 ч. 06 м. Между измерениями радиопеленга и высоты светила прошло 6 минут. За это время самолет прошел путь 40 км. Следовательно, линию радиопеленга надо переместить параллельно самой себе в направлении курса самолета на 40 км, после чего мы получим пересечение двух линий положения, приведенных к одному моменту и, следовательно, определяющих место самолета (рис. 60). Если имеется возможность определить визуальный пеленг удаленного ориентира, то определение места самолета по сочетанию его с астрономической линией положения производится так же, как и с линией радиопеленга.

Еще проще определять место самолета по пересечению астрономической линии положения с каким-либо пролетаемым линейным

ориентиром на земной поверхности, например с рекой, железной или шоссейной дорогой, морским побережьем и т. п.

В этом случае в момент пролета линейного ориентира измеряется высота светила и проложенная по ней на карте астрономическая линия положения в пересечении с линейным ориентиром определит место самолета.

В ночных полетах наиболее удобно определять место самолета по измерениям высот какой-нибудь звезды и Полярной. Определение широты места по измерению высоты Полярной вообще значительно проще, чем определение линии положения по другому небесному светилу. Тем более этот расчет упрощается при сочетании измерений высот Полярной и звезды. В этом случае, измерив высоту звезды и высоту Полярной, при расчете места самолета, чтобы получить широту места по Полярной, надо только учесть поправки к ее измеренной высоте, и сразу же получаем широту места, как это и предусмотрено в бланке для астрономических расчетов. Поправка  $\Delta\varphi_{\text{пол}}$  при этом выбирается из ТВАЗ по  $S$  и  $\varphi$ , рассчитанных для совместно измеренной звезды.

Чтобы не смешать одну из линий положения на карте, в целях приведения обеих линий к одному моменту можно использовать нижеприведенную таблицу поправок (в минутах дуги) к высоте Полярной за перемещение самолета, обозначаемых в бланках для расчета буквой  $D$ .

<div> <div>ПУ " + "</div> <div>W</div> </div>	180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	<div> <div>ПУ " + "</div> <div>W</div> </div>
200	5'	5'	5'	5'	4'	4'	3'	2'	1'	0'	200
250	6	6	6	6	5	4	3	2	1	0	250
300	8	8	8	7	6	5	4	3	1	0	300
350	9	9	9	8	7	6	6	3	2	0	350
400	11	11	10	9	8	7	5	4	2	0	400
450	12	12	11	10	9	8	6	4	2	0	450
500	14	13	13	12	10	9	7	5	2	0	500

<div> <div>W</div> <div>ПУ " - "</div> </div>	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	<div> <div>W</div> <div>ПУ " - "</div> </div>
360	360	350	340	330	320	310	300	290	280	270	360

Она составлена для случая, когда высота Полярной измерена ровно через 3 минуты после измерения высоты первой звезды, что в полете выполнить нетрудно, конечно, заранее подготовившись к этим измерениям.

Определенная по этой таблице в зависимости от путевой скорости  $W$  и путевого угла ПУ поправка со своим знаком вводится в измеренную высоту светила, чем и достигается приведение рас-

считанной широты места по Полярной к моменту измерения высоты первой звезды, и на карте прокладываются обе линии положения, сразу определяющие в пересечении место самолета. Например, высота первой звезды измерена в 23 ч. 30 м., элементы линии положения по ней получились  $\Delta h = +38$  км,  $A = 75^\circ$ ; высота Полярной измерена через 3 минуты, т. е. в 23 ч. 33 м, и после учета всех поправок, в том числе и поправки  $D$ , широта места по ней получилась  $\varphi = 56^\circ 32'$ . Пересечение этих линий положения и определит место самолета для момента времени 23 ч. 30 м. (рис. 61).

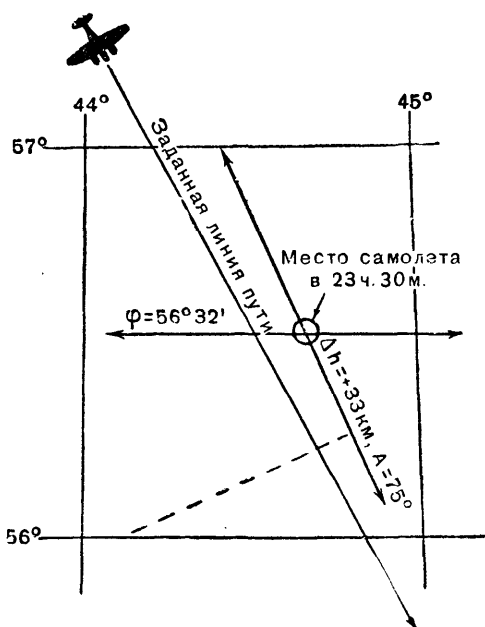


Рис. 61. Определение линии положения по звезде и Полярной

Имея два астрономических места самолета, можно определить путевую скорость и путевой угол самолета. Путевая скорость получается в результате деления расстояния между определенными местами самолета на время полета между ними, а путевой угол просто измеряется на карте между северным направлением меридиана и направлением, проведенным между двумя местами самолета. При этом можно определить и угол сноса, как разность между путевым углом и курсом самолета.

Например, расстояние, снятое с карты между двумя местами самолета  $S = 300$  км, время полета  $t = 54$  минутам, путевой угол  $ПУ = 168^\circ$ , курс самолета  $K = 162^\circ$ . В этом случае путевая скорость

$$W = \frac{S}{t} = \frac{300 \text{ км}}{0,9 \text{ часа}} = 334 \text{ км/час};$$

угол сноса

$$УС = ПУ - K = 168^\circ - 162^\circ = +6^\circ.$$

При одном месте самолета и одной астрономической линии положения можно также определить или путевую скорость, или путевой угол в зависимости от того, как проходит линия положения относительно линии пути: если она перпендикулярна линии пути, то по ней легко определяется путевая скорость на участке между местом самолета и рубежом, отсекаемым этой линией положения; если па-

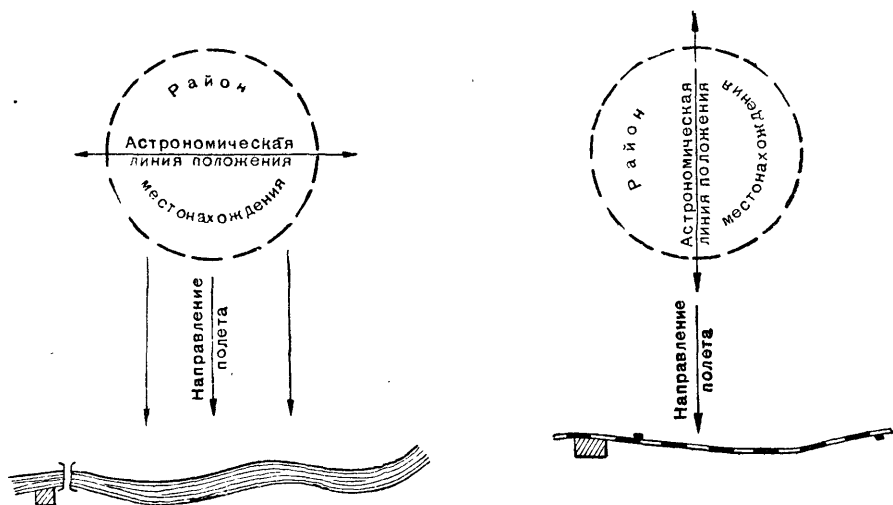
параллельна линии пути — то путевой угол определяется по линии, проходящей от места самолета к этой линии положения.

Определяя путевую скорость или путевой угол по астрономическим местам самолета или по месту и линии положения, надо всегда помнить, что сами эти точки и линии определяются с какой-то ошибкой, которая соответственно скажется и на точности определения путевой скорости и путевого угла. Принимая во внимание, что астрономическая линия положения и место самолета определяются с постоянной одинаковой точностью в среднем 6—10 км, можно считать, что точности определения путевой скорости и путевого угла зависят в основном от времени между астрономическими определениями. При этом чем больше этот промежуток времени, тем точнее определяются путевая скорость и путевой угол. Примерно можно считать, что при интервале между астрономическими определениями в 30 минут средняя путевая скорость за это время полета определяется с точностью до 7%, а средний путевой угол с точностью  $\pm 2^\circ$ , при интервале же времени в 2 часа — точность определения путевой скорости около 2%, а путевого угла около  $\pm 1^\circ$ .

В полетах над безориентирной местностью, где отсутствуют средства земного обеспечения самолетовождения или по каким-либо причинам их нельзя использовать и небесные светила не дают возможности определить свое местонахождение, а только одну линию положения, большой практический интерес представляет возможность использования одной астрономической линии положения для восстановления потерянной ориентировки. Это может встретиться или в дневном полете, когда на небе только одно светило, или ночью, когда виден только небольшой участок звездного неба, а остальное небо закрыто облаками. Одна астрономическая линия положения может быть весьма успешно использована для восстановления ориентировки выходом на какой-либо наземный ориентир. Наиболее просто эта задача решается выходом на линейный ориентир или полетом в направлении линии положения или перпендикулярно к ней. В любых условиях полета, при потере ориентировки, экипаж всегда знает район своего местонахождения (хотя бы с точностью 100—200 км). Если, например, экипаж вылетел от Мичуринска курсом  $90^\circ$  и судя по скорости и времени полета прошел около 300 км, то он будет где-то в районе Пензы. Экипаж может не знать, где именно, но что в районе Пензы, то это будет очевидно. Для восстановления ориентировки экипаж, получив одну астрономическую линию положения, определяет на карте ориентировочный район своего местонахождения. В зависимости от района местонахождения и направления линии положения близлежащих линейных ориентиров, экипаж курсом вдоль линии положения или перпендикулярно к ней выходит на намеченный линейный ориентир (рис. 62). После выхода на линейный ориентир экипаж уточняет свое место или по характерным изгибам этого ориентира, или по другим ориентирам около него.

В случае вынужденной посадки самолета в ненаселенном районе авиационный секстант является также весьма ценным прибором

для определения своего местонахождения. Таким же методом, как и в воздухе, экипаж на земле легко и достаточно точно определяет свое место, чтобы принять решение о дальнейших действиях. При этом точность определения местонахождения гораздо выше, чем в воздухе, в среднем она равна 3—5 км. В дневных условиях, когда на небе только одно светило — Солнце, можно определить свое место по пересечению двух линий положения от одного светила.



**Рис. 62.** Восстановление ориентировки выходом на линейный ориентир

В таком случае после первого измерения высоты Солнца выжидают примерно 4 часа, т. е. пока направление на Солнце не изменится градусов на 60, и потом второй раз измеряют его высоту. Полученные в обоих случаях линии положения в пересечении дадут место наблюдения.

---

---

## 7. БУДУЩЕЕ АСТРОНОМИИ В АВИАЦИИ

Значение авиационной астрономии в обеспечении самолетовождения с каждым годом возрастает. Ее достоинства: независимость от земных условий, применимость в любом месте земного шара, независимая точность определения навигационных элементов от времени и дальности полета и др.— настоятельно требуют широкого развития и применения астрономических средств в полете. Еще большие перспективы сулит развитие и применение астрономии в авиации в будущем. Неограниченные возможности и практическая необходимость применения астрономических средств в полете объясняются современным развитием авиационной техники и открытиями в области астрономической науки.

Невиданный расцвет науки и техники в СССР является результатом грандиозных социалистических преобразований, совершенных советским народом под руководством большевистской партии и вождя и учителя трудящихся товарища Сталина.

Развитие науки в нашей стране обусловлено самой природой советского строя, так как само социалистическое государство строится на подлинно научной основе, поэтому так велика роль передовой советской науки в построении коммунистического общества.

В наш век радио, электронной техники, автоматики, реактивных двигателей и атомной энергии достижения в области астрономии приобретают также исключительно важное практическое значение.

Наши советские ученые внесли большой вклад в развитие астрономической науки, их работы были высоко оценены научной общественностью и Советским правительством. Так, в 1950 г. были присуждены Сталинские премии первой степени члену-корреспонденту Академии наук СССР В. А. Амбарцумяну и научному работнику Б. Е. Маркарянцу за выдающиеся открытия новых звездных систем. В этой области они сделали смелые выводы, в корне расходящиеся с представлениями, распространенными в зарубежной науке.

В. А. Амбарцумян доказал, что звездные ассоциации объединяют молодые звезды, возраст которых меньше возраста Земли, что процесс образования звезд в этих ассоциациях происходит и в наше время.

В этом же году присуждена Сталинская премия первой степени академику Г. А. Шайн за исследование звездных атмосфер.

Г. А. Шайн впервые доказал вращение ряда звезд вокруг своей оси, им было также открыто большое число новых спектральнодвойных звезд.

Благодаря заботам товарища Сталина советский народ поднял нашу науку и технику на недостижимые для капиталистического мира высоты, значительно опережая открытия зарубежных ученых.

В нашей стране впервые в мире был создан и поднялся в воздух самолет. Наша страна является родиной теории и практики самолетовождения. Индустриализация страны, довоенные и послевоенные сталинские пятилетки привели к бурному развитию отечественной науки и техники, они определили также непрерывный рост технических средств самолетовождения, а вместе с тем и совершенствование способов использования этих средств.

Только в Советской стране была создана цельная строго научная теория самолетовождения. Буржуазные ученые хотя и разрабатывали отдельные вопросы самолетовождения, но со своим делачески-метафизическим подходом к науке они не смогли подняться до правильных теоретических обобщений.

Советская теория и практика самолетовождения прошли боевую проверку в годы Великой Отечественной войны, в боевых действиях сталинской авиации за свободу и независимость нашей Родины.

Сталинское требование «летать дальше всех, быстрее всех и выше всех» в настоящее время успешно осуществляется.

Трудно переоценить современное бурное развитие авиационной техники. В то время как несколько лет назад мы имели дело с самолетами относительно небольшой скорости, высоты и дальности полета, теперь полеты с громадными скоростями и дальностями в верхних слоях тропосферы являются действительностью, а реальностью ближайшего будущего являются полеты в стратосфере на сверхзвуковых скоростях, с дальностью до любой точки земного шара. Совершенно очевидно, что для обеспечения самолетовождения в таких полетах нужны средства, гарантирующие точность и безопасность полета. Очевидно также, что достоинства астрономических средств позволяют их использовать для решения этой задачи.

Даже в настоящее время при дальних полетах, которые, как правило, совершаются на больших высотах, единственное препятствие в применении астрономии в полете — облачность — отпадает, так как облака редко бывают выше 4—5 тыс. м, и, таким образом, при полетах на больших высотах перед взорами экипажа всегда находится безоблачное небо.

Дальние полеты даже на современных самолетах, как правило, не могут обойтись без применения астрономических средств для обеспечения самолетовождения. Тем более применение астрономических средств будет необходимо для точного и надежного самолетовождения в непрерывно возрастающих дальностях полета.

Развитие самолетов с реактивными двигателями, эффективность работы которых значительно увеличивается с высотой полета, тем более поднимает потолок полетов, создавая большие возможности в применении авиационной астрономии.



Неправильно было бы считать, что современное развитие радиотехнических средств самолетовождения может обеспечить самолетовождение без применения других средств и, в частности, без астрономических.

При всех достоинствах радиотехнических средств они имеют и существенные недостатки. Помимо того, что большинство из радиотехнических средств требует дорогих наземных устройств, они подвержены радиопомехам и главное, что, за исключением некоторых специальных радиотехнических систем, они имеют ограниченный радиус действия, в пределах которого точность определения своего места падает с удалением от наземных станций.

При дальних и сверхдальних полетах, когда экипаж выходит из зоны действия наземных радиотехнических средств, использование их исключается, и в полете экипажу приходится опираться на астрономические средства, не зависящие в работе ни от каких наземных устройств и не снижающие точность самолетовождения с увеличением дальности полета.

Неправильно было бы и противопоставлять развитие астрономических средств радиотехническим. Наоборот, только совместное их развитие может надежно обеспечить самолетовождение при любой скорости, высоте и дальности полета.

Появление и развитие летающих аппаратов без наличия на борту летчика требует также надежного и точного обеспечения направления их к цели полета. Эти аппараты-ракеты будут летать на больших высотах и на большие дальности, поэтому вполне вероятно, что наиболее эффективно обеспечение их полетов может быть осуществлено сочетанием радиотехнических средств с астрономическими.

Увеличение дальности, потолка и скорости полета требует соответствующего развития средств обеспечения полета и, в частности, астрономических средств, которые в будущем, очевидно, должны будут претерпеть значительные изменения.

Развитие астрономических средств должно пойти по пути автоматизации их работы и значительного сокращения времени на производство астрономических расчетов. При звуковых и сверхзвуковых скоростях полетов невозможно тратить 4—5 минут на астрономические расчеты, что мы делаем сейчас, за это время самолет звуковой скорости может пройти расстояние в 80—100 км и астрономическое место самолета, определенное существующими способами, будет слишком далеко позади к моменту его расчета и прокладки на карте. Поэтому в будущем процесс астрономических измерений и расчетов должен выполняться не человеком, а автоматическими аппаратами с выдачей показаний курса самолета и места полета на приборную доску экипажа наравне с другими навигационно-пилотажными приборами самолета.

Наша современная авиационная наука и техника вплотную подошли к решению этих насущных проблем, а последние достижения наших советских ученых и инженеров дают полную возможность

решить важнейшие технические проблемы, обеспечивающие скачок в развитии авиационных астрономических средств.

Эти научные и технические достижения создают предпосылку для успешного создания новейшей астрономической аппаратуры, качественно по-новому решающей задачи авиационной астрономии. Вместе с тем огромный размах работ, проводимых советскими астрономами по изучению неба, создает возможность в большей мере использовать небесные светила для обеспечения полетов самолетов. Приведем такой пример.

Радиосвязь на большие расстояния, как известно, возможна лишь потому, что радиоволны отражаются от ионосферы, т. е. от верхних слоев земной атмосферы. При исследовании оказалось, что радиопроводимость ионосферы находится в прямой зависимости от особого типа коротковолновых лучей, рождающихся в солнечной короне. Иначе говоря, излучения солнечной короны воздействуют на земные явления.

Дальнейшими научно-экспериментальными исследованиями установлено, что само Солнце излучает радиоволны различного диапазона, длиной от сантиметра, возникающие в хромосфере — раскаленной оболочке Солнца, до нескольких метров, испускаемые внешней короной Солнца. Это радиоизлучение было обнаружено группой советских ученых под руководством проф. С. Э. Хайкина в 1947 г.

Таким образом, есть все научные предпосылки к тому, чтобы создать астрономические авиационные приборы, работающие не на принципе приема светового луча Солнца, а на принципе приема его радиоизлучения, которому не препятствует облачность и приборы, следовательно, будут работать независимо от зрительной видимости Солнца.

Наша передовая отечественная наука и техника создают все возможности к неограниченному развитию астрономических средств для применения их в авиации, и нет сомнения в том, что в будущем, особенно в дальних и сверхдальних полетах, астрономические средства займут прочное место в авиации, без которых будет немислимо точное и надежное самолетовождение.

---

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## ПЕРЕВОД МИНУТ ВРЕМЕНИ В ГРАДУСЫ И МИНУТЫ ДУГИ

Мин. времени	Град. и мин. дуги	Мин. времени	Град. и мин. дуги	Мин. времени	Град. и мин. дуги
1	0°15'	21	5°15'	41	10°15'
2	0 30	22	5 30	42	10 30
3	0 45	23	5 45	43	10 45
4	1 00	24	6 00	44	11 00
5	1 15	25	6 15	45	11 15
6	1 30	26	6 30	46	11 30
7	1 45	27	6 45	47	11 45
8	2 00	28	7 00	48	12 00
9	2 15	29	7 15	49	12 15
10	2 30	30	7 30	50	12 30
11	2 45	31	7 45	51	12 45
12	3 00	32	8 00	52	13 00
13	3 15	33	8 15	53	13 15
14	3 30	34	8 30	54	13 30
15	3 45	35	8 45	55	13 45
16	4 00	36	9 00	56	14 00
17	4 15	37	9 15	57	14 15
18	4 30	38	9 30	58	14 30
19	4 45	39	9 45	59	14 45
20	5 00	40	10 00	60	15 00

## 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

## ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЕ ЧИСЛА И ДАТЫ (ПРИБЛИЖЕННО)

Видимый угловой диаметр Солнца и Луны . . . . .	0°,5
Наклон эклиптики к экватору . . . . .	23°,5
Средний радиус Земли . . . . .	6370 км
Средняя окружность земной поверхности . . . . .	40 000 км
Разность экваториального и полярного радиусов Земли . . . . .	20 км
Среднее расстояние Солнца от Земли . . . . .	150 000 000 км
Среднее расстояние Луны от Земли . . . . .	380 000 км
Удаление ближайшей звезды ( $\alpha$ Центавра) от солнеч- ной системы . . . . .	4 свет. года
Скорость движения Луны вокруг Земли . . . . .	1 км/сек
Скорость движения Земли вокруг Солнца . . . . .	30 км/сек
Скорость движения Солнца (вместе с солнечной си- стемой) . . . . .	20 км/сек
Масса Земли . . . . .	$6 \cdot 10^{21}$ т
Масса Солнца по сравнению с Землей . . . . .	больше в 330 000 раз
Диаметр Луны по сравнению с диаметром Земли . . . . .	меньше в 4 раза
Диаметр Солнца по сравнению с диаметром Земли . . . . .	больше в 109 раз
Поперечник нашей звездной системы — Галактики . . . . .	100 000 свет. лет
Число звезд, видимых невооруженным глазом (на всей небесной сфере) . . . . .	Около 6000
Температура поверхности Солнца . . . . .	6000°
Температура звезд . . . . .	От 3000° до 30 000°
День весеннего равноденствия . . . . .	21 марта
День летнего солнцестояния . . . . .	22 июня
День осеннего равноденствия . . . . .	23 сентября
День зимнего солнцестояния . . . . .	22 декабря
Смена лунных фаз . . . . .	Через 29½ суток
Расстояние от Земли до верхней границы тропосферы . . . . .	11—15 км
Продолжительность дня на полюсе . . . . .	189 суток
Продолжительность ночи на полюсе . . . . .	176 суток

**ДАТЫ, НА КОТОРЫЕ ПРИХОДИТСЯ ПЕРВОЕ ВОСКРЕСЕНЬЕ  
В ЛЮБОМ МЕСЯЦЕ**

Годы 1940—1980 Месяцы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
40, 68 . . . . .	7	4	3	7	5	2	7	4	1	6	3	1
41, 47, 58, 69, 75 . . . . .	5	2	2	6	4	1	6	3	7	5	2	7
42, 53, 59, 70 . . . . .	4	1	1	5	3	7	5	2	6	4	1	6
43, 54, 65, 71 . . . . .	3	7	7	4	2	6	4	1	5	3	7	5
47, 72 . . . . .	2	6	5	2	7	4	2	6	3	1	5	3
45, 51, 62, 73, 79 . . . . .	7	4	4	1	6	3	1	5	2	7	4	2
46, 57, 63, 74 . . . . .	6	3	3	7	5	2	7	4	1	6	3	1
48, 76 . . . . .	4	1	7	4	2	6	4	1	5	3	7	5
49, 55, 66, 77 . . . . .	2	6	6	3	1	5	3	7	4	2	6	4
50, 61, 67, 78 . . . . .	1	5	5	2	7	4	2	6	3	1	5	3
52, 80 . . . . .	6	3	2	6	4	1	6	3	7	5	2	7
56 . . . . .	1	5	4	1	6	3	1	5	2	7	4	2
60 . . . . .	3	7	6	3	1	5	3	7	4	2	6	4
64 . . . . .	5	2	1	5	3	7	5	2	6	4	1	6

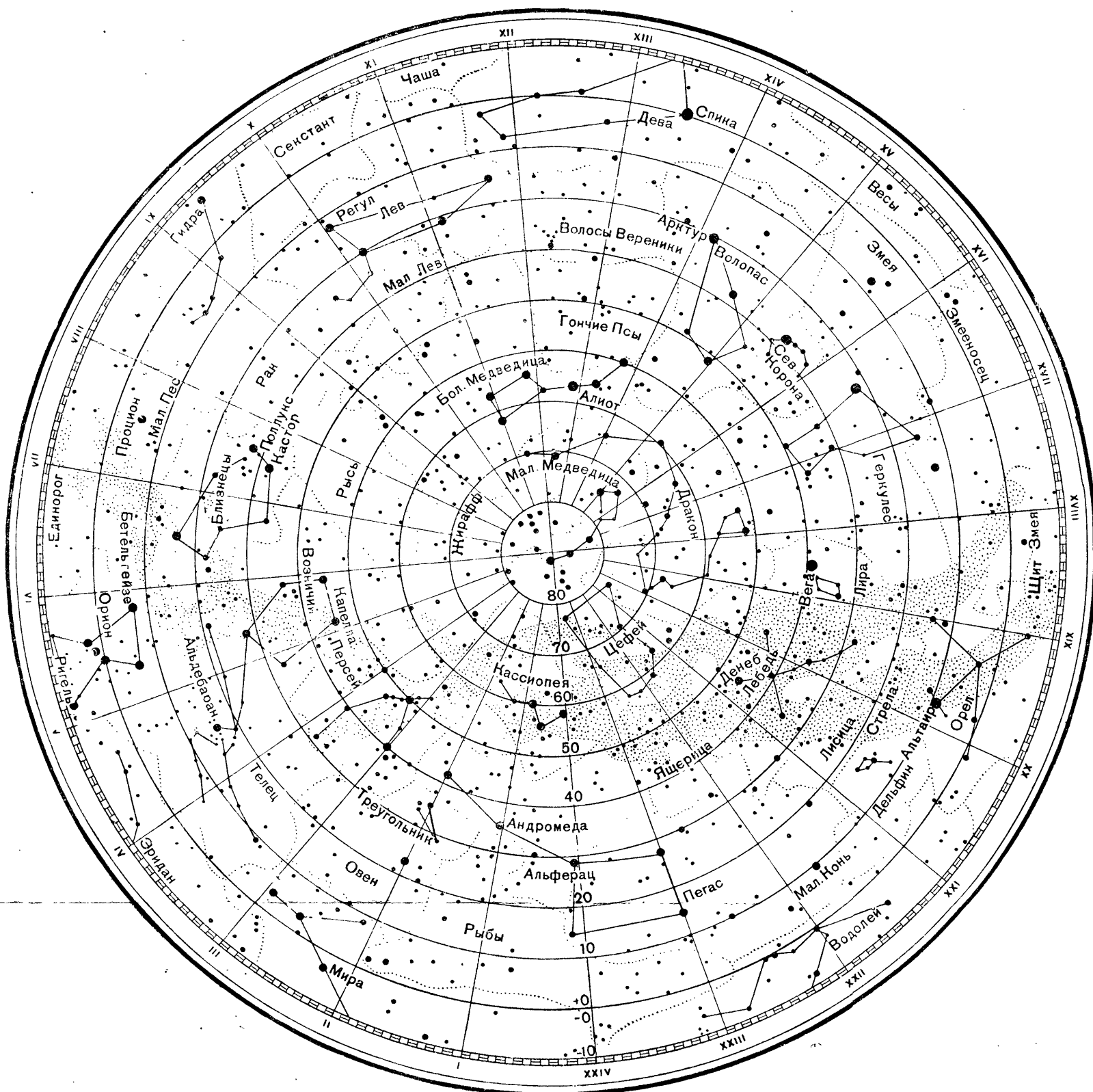
ТАБЛИЦА ДАТ ФАЗЫ ЛУНЫ

Годы Фазы Луны Месяцы	1952				1953				1954			
	●	☾	○	☾	●	☾	○	☾	●	☾	○	☾
Январь . . .	26	4	12	20	15	22	1(29)	8	5	12	19	27
Февраль . . .	25	2	11	18	14	20	28	7	3	10	17	25
Март . . . . .	25	3	11	19	15	22	30	8	5	11	19	27
Апрель . . .	24	2	10	17	13	21	29	7	3	10	18	26
Май . . . . .	23	2(31)	9	16	13	20	28	6	2	9	17	25
Июнь . . . . .	22	30	8	14	11	19	27	4	1(30)	8	16	23
Июль . . . . .	21	30	7	14	11	19	26	3	29	8	16	23
Август . . .	20	28	5	12	9	17	24	2(31)	28	6	14	21
Сентябрь . .	19	26	4	11	8	16	23	29	27	5	12	19
Октябрь . . .	18	26	3	10	8	15	22	29	26	5	12	18
Ноябрь . . .	17	24	1	9	6	14	20	28	25	3	10	17
Декабрь . . .	17	23	1(31)	9	6	13	20	28	25	3	10	17

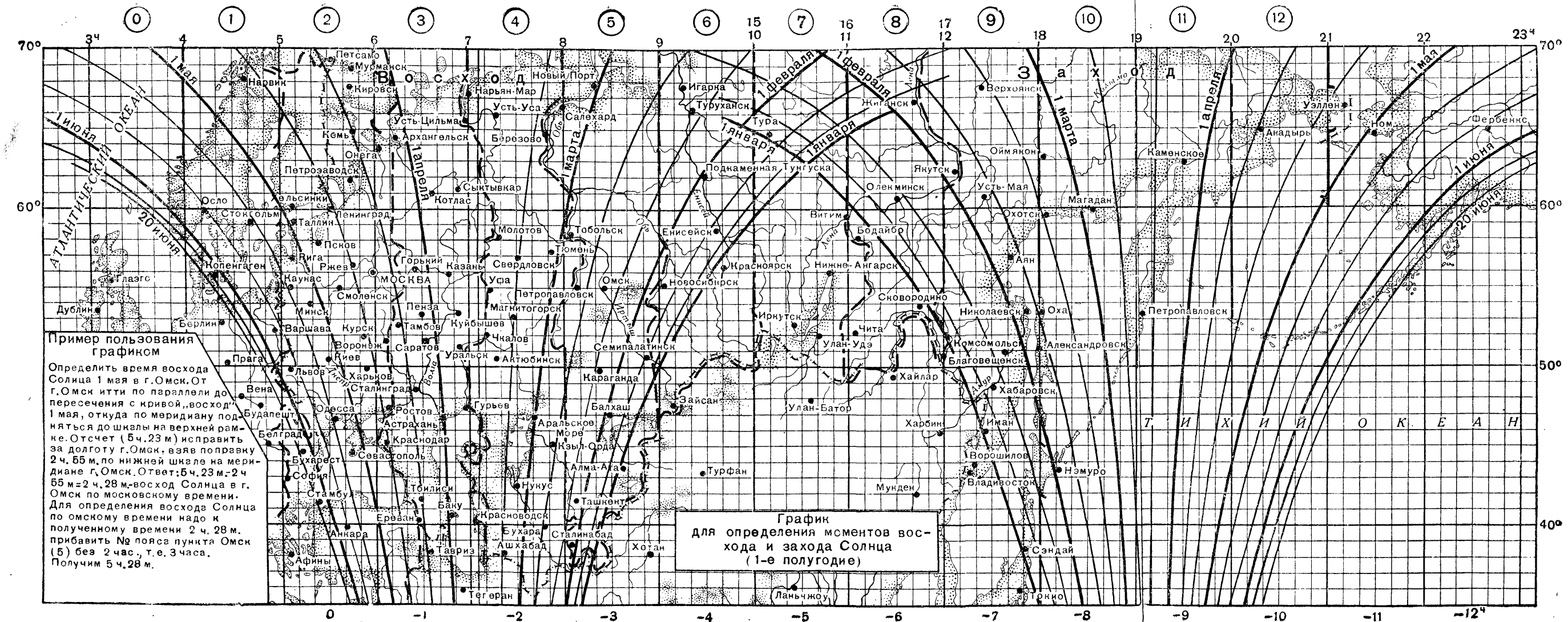
Примечание. ● — новолуние;  
☾ — первая четверть;  
○ — полнолуние;  
☾ — последняя четверть.

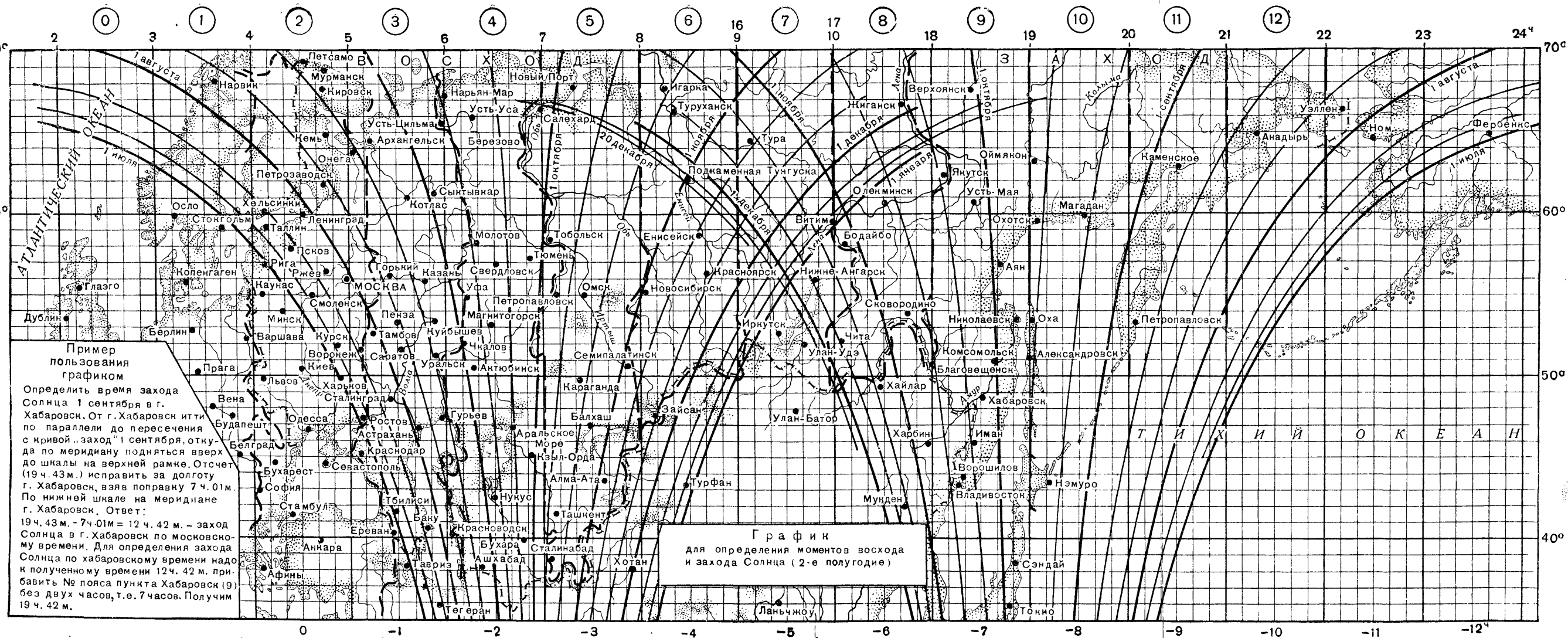
Даты фаз Луны указаны по московскому времени.

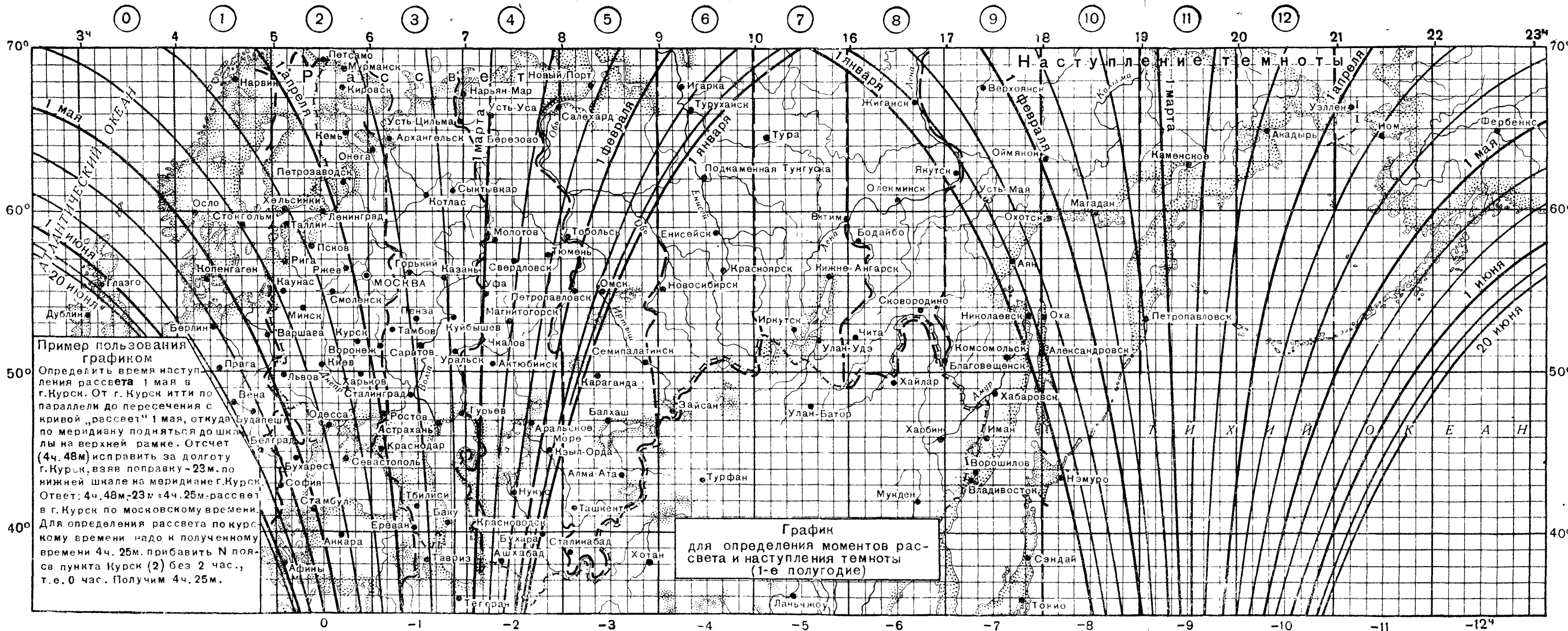
В скобках указана вторая дата для этой фазы в данном месяце.

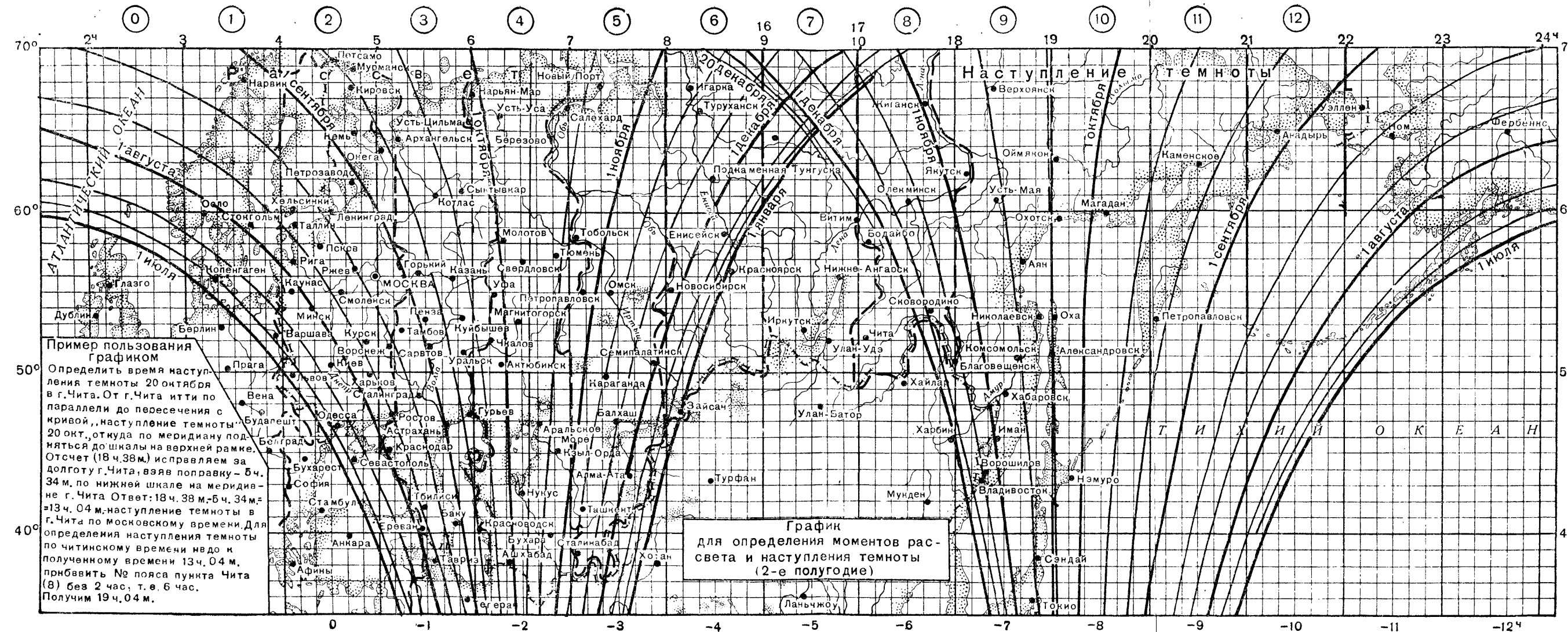












---

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

А. И. Торгман, Н. Ф. Кудрявцев, Л. П. Сергеев, М. Ф. Горшков, Учебник по аэронавигации, Воениздат, 1947.

Р. В. Кунцкий, Курс авиационной астрономии, Воениздат, 1949.

Н. К. Кривонос, Курс самолетовождения, ч. IV, Авиационная астрономия, Воениздат, 1947.

Н. А. Курафеев, В. И. Чернышев, Задачи и упражнения по авиационной астрономии, Воениздат, 1948.

Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрономия, Учпедгиз, 1949.

П. Г. Куликовский, Справочник астронома-любителя, Гостехиздат, 1949.

П. И. Попов, Общедоступная практическая астрономия, Госиздат ТТЛ, 1950.

И. Ф. Полак, Время и календарь, Госиздат ТТЛ, 1948.

Я. И. Перельман, Занимательная астрономия, Госиздат ТТЛ, 1949.

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<b>Введение</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>1. Небесная сфера</b> . . . . .	<b>9</b>
Звездное небо . . . . .	—
Солнечная система . . . . .	16
Небесные координаты . . . . .	20
Вращение небесной сферы . . . . .	25
Годовое движение Солнца по небесной сфере . . . . .	27
Бортовая карта звездного неба . . . . .	30
<b>2. Время</b> . . . . .	<b>33</b>
Измерение времени . . . . .	—
Расчет времени для различных пунктов земного шара . . . . .	40
Проверка времени . . . . .	45
Таблицы и графики Солнца, таблицы Луны . . . . .	50
<b>3. Определение места самолета</b> . . . . .	<b>52</b>
Круги равных высот светил . . . . .	—
Методы определения линии положения и места самолета . . . . .	54
Астрономические таблицы . . . . .	57
Авиационный секстант и его применение . . . . .	65
Исправление измеренных высот светил . . . . .	74
<b>4. Определение курса самолета</b> . . . . .	<b>79</b>
Астрономический компас и его применение . . . . .	—
Определение девиации магнитного компаса и радиодевиации по астрокомпасу . . . . .	84
<b>5. Приближенные определения стран света и времени по небесным светилам</b> . . . . .	<b>87</b>
Ориентирование по Солнцу . . . . .	88
Ориентирование по Луне . . . . .	89
Ориентирование по звездам . . . . .	91
<b>6. Применение астрономии в самолетовождении</b> . . . . .	<b>93</b>
Подготовка к полету . . . . .	95
Выполнение полета . . . . .	104
<b>7. Будущее астрономии в авиации</b> . . . . .	<b>118</b>
<b>Приложения:</b>	
1. Перевод минут времени в градусы и минуты дуги . . . . .	122
2. Перевод минут дуги большого круга в километры . . . . .	123
3. Знаменательные числа и даты (приблизленно) . . . . .	124
4. Даты, на которые приходится первое воскресенье в любом месяце . . . . .	125
5. Таблица дат фазы Луны . . . . .	126
6. Северное звездное небо . . . . . (вклейка)	
7. График для определения моментов восхода и захода Солнца (1-е полугодие) . . . . . (вклейка)	
8. График для определения моментов восхода и захода Солнца (2-е полугодие) . . . . . (вклейка)	
9. График для определения моментов рассвета и наступления темноты (1-е полугодие) . . . . . (вклейка)	
10. График для определения моментов рассвета и наступления темноты (2-е полугодие) . . . . . (вклейка)	
Рекомендуемая литература . . . . .	127