



Б. И. Красавцев, Б. П. Хлюстин

МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

Б. И. КРАСАВЦЕВ, Б. П. ХЛЮСТИН

МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

*Утверждено
Отделом учебных заведений ММФ
в качестве учебника для судоводительских факультетов
высших инженерных морских училищ
Министерства морского флота*

ИЗДАТЕЛЬСТВО „МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ“
ЛЕНИНГРАД—1960

Настоящий курс «Мореходной астрономии» написан в соответствии с программой одноименного предмета, читаемого в высших инженерных морских училищах. Основные вопросы курса даны в изложении, пригодном для самостоятельного изучения их, вследствие чего книга может использоваться также и студентами-заочниками. Одновременно в части практической книга может служить руководством для штурманов-практиков. Поэтому наряду с рассмотрением теоретических вопросов для всех важнейших случаев приведены подробные практические рекомендации, доведенные до вида инструкций по наблюдениям и их обработке.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с тем, что курс «Мореходной астрономии» издания 1948 г. не соответствовал возросшим требованиям теории и практики, профессор, доктор военно-морских наук Б. П. Хлюстин начал полную его переработку. Однако преждевременная кончина, последовавшая 20 сентября 1949 г., не позволила Б. П. Хлюстину довести его намерение до конца. Им был написан лишь раздел «Вспомогательные вопросы математики», не вошедший в настоящую книгу,¹ и частично переработаны первые шесть глав. Остальной курс написан целиком сотрудником проф. Хлюстина доцентом Б. И. Красавцевым. В первых шести главах им несколько изменена методика изложения, даны другие рисунки, проведены сокращения и заново написаны глава 5 и § 4, 6, 9, 12, 15, 17, 19, 25, 28 и 30.

При изложении авторы придерживались следующей общей методики: идея, или принцип, данного вопроса, математическое обоснование его и анализ, практическое выполнение и пример. Поэтому при изучении курса всегда можно выбрать то, что требуется читателю — теорию данного вопроса или практическое его выполнение.

В данный курс вошло много вопросов, не затрагиваемых в аналогичных курсах; вопросы, выходящие за рамки программы, но требующиеся для более глубокого понимания данного раздела, набраны петитом; кроме того, петитом набраны все инструктивные разделы и примеры.

Основное внимание в практической части уделено способу высотных линий положения, который изложен со всей возможной полнотой. Большое внимание в этом разделе уделено анализу определения места, включая анализ его на промахи, ранее не рассматривавшийся.

В главе 9 книги рассмотрен Морской Астрономический Ежегодник нового образца, который вводится с 1961 г. Примеры в практической части курса решены также по новому ежегоднику на 1962 г., за исключением глав 9 и 23, в которых примеры решены по ежегоднику на 1961 г. В книге рассмотрены также некоторые новые образцы отечественных и зарубежных приборов и новые отечественные таблицы

¹ Раздел „Вспомогательные вопросы математики” перенесен в курс математики и по нему выпущено специальное пособие — проф. Н. Ю. Рыбалтовский, „Математическая обработка задач судовождения”, изд-во «Морской транспорт», 1959 г.

ВАС-58. В последней главе книги приводится довольно подробный исторический очерк мореходной астрономии и перспективы ее дальнейшего развития.

Автор доц. Б. И. Красавцев приносит искреннюю благодарность проф. Н. Ю. Рыбалтовскому, принявшему на себя труд по редактированию рукописи, а также доц. Л. Ф. Черниеву и В. Г. Васильеву, давшим ряд ценных замечаний.

ВВЕДЕНИЕ

Мореходная астрономия, как показывает само название, является наукой, связанной с двумя областями человеческого знания — с судо-
вождением и с астрономией.

Все науки, служащие целям судо-вождения, имеют одну общую основную задачу — обеспечение безопаснейшего, быстрее-
го и наиболее экономичного перехода судна морем из одного пункта в другой. В этой области мореходная астрономия тесно примыкает к навигации.

В задачу навигации, как известно, входит, помимо решения общих географических вопросов, возникающих при плавании морем (форма и размеры Земли, картографические ее изображения, их применение и т. п.), также определение места и поправок приборов по наблюдению «земных» объектов — маяков, знаков и т. п.

Решение этих же задач по наблюдению «небесных» объектов, т. е. светил, рассматривается в мореходной астрономии. Таким образом, объектами наблюдений в мореходной астрономии являются светила, и с этой стороны она непосредственно связана с астрономией.

Познакомимся с предметом изучения и разделением астрономии и местом, занимаемым в ней мореходной астрономией.

Астрономия¹ в буквальном смысле — наука о небесных светилах. Долгое время в астрономии изучались только движения светил; в настоящее же время изучаются все доступные наблюдениям механические, физические, химические и биологические процессы, происходящие во вселенной, так что астрономии можно определить, как науку о строении и развитии вселенной. Многообразие объектов изучения привело к разделению астрономии на ряд специализированных разделов.

Сферическая астрономия рассматривает методы построения координатных систем светил на поверхности вспомогательной сферы, изменение этих координат вследствие различных причин, а также принципы измерения времени.

Практическая астрономия изучает методы определения координат светил из наблюдений, методы получения из астрономических наблюдений географических координат места наблюдателя, истинных направлений на земной поверхности, точного времени и др. В практической астрономии изучаются также инструменты, служащие для наблюдений, и методы работы с ними.

В зависимости от целей, которым служат результаты наблюдений, а также от методов и средств, с которыми эти наблюдения производятся, практическая астрономия подразделяется на четыре совершенно самостоятельные области:

а) обсерваторную астрономию (иногда ее называют фундаментальной астрономией) — в которой наблюдения производятся с большими стационарными обсерваторными инструментами, особыми

¹ От греческих слов *αστρον* — звезда и *νόμος* — порядок, закон.

методами, с высокой степенью точности, а результаты наблюдений служат в основном научным целям и используются в качестве отправных данных для общего решения теоретических и практических вопросов;

б) геодезическую, или полевую астрономию, в которой наблюдения производятся с точными переносными инструментами в различных пунктах на суше (в полевых условиях) и служат в основном чисто практическим целям — определению координат места и истинных направлений;

в) мореходную астрономию, в которой эти же задачи решаются в морских условиях более грубыми инструментами и с меньшей точностью;

г) авиационную астрономию, в которой те же задачи решаются применительно к полетам в воздухе и с еще меньшей точностью.

Небесная механика изучает на основе законов механики и закона всемирного тяготения истинные движения светил в пространстве, их массы и фигуры. Этот отдел тесно связан с теоретической астрономией.

Теоретическая астрономия изучает методы определения видимых движений и положений светил на сфере по их истинным движениям в пространстве (вычисление эфемерид) и, наоборот, методы определения истинных движений по видимым положениям светил на сфере и времени (вычисление орбит).

Астрофизика изучает физические и химические процессы, происходящие на светилах и вообще во Вселенной.

Звездная астрономия изучает распределение звезд и материи в пространстве, их классификацию и т. п., а также изучает все процессы, происходящие в звездных мирах.

Радиоастрономия изучает радиоизлучение небесных тел и средства и методы, применяемые для этого. Эта наука появилась после второй мировой войны и в последнее время бурно развивается.

Астробиология изучает вопросы наличия жизни, ее возможности и условия ее протекания на небесных телах, в частности на телах Солнечной системы.

Космогония рассматривает вопросы происхождения и развития небесных тел, их систем, а также других скоплений материи в пространстве.

Общая, или описательная, астрономия представляет собственно краткое изложение всех разделов астрономии с целью общего ознакомления с применяемыми методами и полученными результатами.

Почти все перечисленные разделы астрономии тесно связаны между собой как по объектам наблюдений, так и по методам.

Астрономия имеет большое научное и идеологическое значение для социалистического общества. Для высоко развитой промышленности и транспорта необходимо иметь точное время, точные географические координаты, направления и другие данные, получаемые астрономическими методами. Астрономия помогает изучать процессы движения и развития материи в условиях, недостижимых на Земле. Наконец, социалистическому обществу нужны люди, хорошо разбирающиеся в явлениях природы, чуждые предрассудкам и суевериям, и здесь особенно велика роль астрономии, которая с древних времен и до наших дней является полем битвы между наукой и вымыслами, материализмом и идеализмом. С этой точки зрения астрономия очень важна для воспитания у людей материалистического мировоззрения.

Мореходная астрономия использует общие методы практической и сферической астрономии, но результаты наблюдений и вычислений служат для целей навигации. Вследствие этого к морским астрономическим наблюдениям и их обработке предъявляются совершенно иные требования, по сравнению с «береговыми», а именно: 1) возможность производить наблюдения в короткий срок и достаточно точно с подвижной платформы — палубы судна; 2) вычисления должны быть просты и выполняться быстро и без промахов одним человеком. Эти требования привели к созданию специальных приборов, методов и пособий, значительно отличающихся от «береговых». В настоящее время методы мореходной астрономии настолько упрощены и приспособлены к навигации, что мореходную астрономию иногда считают ее составной частью — контролем за счислением пути судна по небесным светилам. Однако такой взгляд несколько ограничен, так как мореходная астрономия обеспечивает и некоторые другие нужды судовождения — определение естественной освещенности горизонта светилами, служба времени и др. Поэтому можно сказать, что *предметом мореходной астрономии является приложение астрономических знаний к нуждам судовождения.*

Основными задачами, решаемыми мореходной астрономией, будут: определение места в море по наблюдениям светил и определение истинных направлений для получения поправок компасов. Следует учитывать также большое общеобразовательное значение астрономии для судоводителей.

Возникновение мореходной астрономии как науки можно отнести к XV в. — ко времени великих географических открытий, когда регулярные выходы в открытые моря и особенно океаны потребовали применения новых методов определения места — по наблюдениям светил. В начале на море применялись в упрощенном виде те же методы и инструменты, что и на суше, но особенности наблюдений на подвижном основании потребовали специальных инструментов и методов. Для измерения вертикальных углов (высот светил) первоначально применялись примитивные инструменты: квадрант, астролябия, градшток¹ — и только в XVIII в. был изобретен угломерный инструмент значительно более точный в морских условиях — секстант², применяемый в усовершенствованном виде и до сих пор. В XV в. появляются и первые пособия для обработки наблюдений — таблицы координат Солнца и звезд, выходившие первоначально периодически, а с конца XVIII в. — ежегодно (ежегодники).

Списки координат позволяли выбирать из них координаты наблюдаемых светил (главным образом Солнца) на моменты наблюдений и с их помощью получать широту места. Определение долготы оказалось значительно более сложным делом, так как требовало знания точного времени на начальном меридиане (с 1844 г. за общий начальный меридиан принят меридиан обсерватории в Гринвиче близ Лондона — гринвичский меридиан).

Только с изобретением в XVIII в. хронометра и разработкой метода «лунных расстояний» оказалось возможным получить долготу по сравнению времен на местном и гринвичском меридианах. Долгое время эти методы раздельного определения координат и применялись на море.

В середине XIX в. был открыт метод определения места судна по

¹ См. исторический очерк, § 147.

² От латинского *sextans* (*sextantis*) — шестая часть, так как инструмент представляет дугу около $\frac{1}{6}$ части окружности.

линиям положения — так называемый способ высотных линий положения¹. Известно, что в навигации место корабля на карте получается графически — как точка пересечения двух или трех линий — пеленгов, расстояний и т. д.

Совершенно аналогично и в астрономии обсервованное место может быть получено как точка пересечения двух (трех) линий положения, соответствующих двум (трем) высотам светил.

Трудами многих ученых, в том числе советских ученых Н. Н. Матусевича, В. В. Каврайского, А. П. Ющенко, способ высотных линий положения получил детальную разработку и общее теоретическое обоснование и является теперь основным методом астрономического определения места в море.

Астрономические определения в море до сих пор имеют большое применение как в обычных плаваниях в открытых морях и океанах, так и особенно при плаваниях в плохо оборудованных радиосредствами районах. Определение же поправки компаса в открытом море остается задачей, решаемой и в настоящее время только методами мореходной астрономии.

Методы мореходной астрономии хотя и уступают радиотехническим по ряду показателей, но обладают и существенными преимуществами перед ними: полной автономностью, скрытностью определений, сравнительно высокой их точностью при простоте и дешевизне аппаратуры, которая не требует к тому же никаких источников энергии. Но наряду с этим астрономические методы обладают крупными недостатками — неприменимостью при плохой видимости и трудоемкостью вычислений, которые иногда ограничивают и затрудняют их применение.

Содержание курса мореходной астрономии составляют в основном следующие разделы:

1) основы сферической астрономии, где изучаются координаты светил, их изменения и измерение времени;

2) морские астрономические инструменты: секстан, хронометр, звездный глобус и наклономер;

3) методы определения поправки компаса;

4) методы определения места судна в море или его координат.

Для решения астрономических задач в море у нас применяются следующие пособия: Морской Астрономический Ежегодник (МАЕ), Мореходные Таблицы (МТ-53) и специальные таблицы: «ТВА-57», «ВАС-58», «Азимуты светил» и т. п. Классическими пособиями по мореходной астрономии можно считать труды Н. Н. Матусевича «Мореходная астрономия», 1922 г., и «Основы мореходной астрономии», 1956 г.

¹ В некоторых руководствах этот способ называли способом Сомнера — по фамилии капитана, открывшего идею способа.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ СФЕРИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ И МАЕ

ГЛАВА I

СФЕРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ СВЕТИЛ

§ 1. НЕБЕСНАЯ СФЕРА

При решении различных астрономических задач часто возникает необходимость в установлении точных математических зависимостей между различными направлениями в пространстве и в анализе их изменений.

Наиболее просто подобные зависимости получаются с помощью так называемой вспомогательной сферы (см. приложение II). Вспомогательная сфера вводится для перехода от направлений и углов в пространстве к точкам, линиям и треугольникам на поверхности сферы, что позволяет использовать формулы сферической тригонометрии и значительно упростить решение подобных задач.

В астрономии широко используется под названием **небесная сфера** специальная вспомогательная сфера с построенными на ней системами сферических координат и нанесенными на нее местами светил. Эта вспомогательная сфера является чисто математическим построением и не должна отождествляться с реально наблюдаемым небесным сводом.

Значение небесной сферы не ограничивается решением задач на нахождение углов в пространстве — на сфере особенно наглядно воспроизводятся также различные движения светил.

Центр небесной сферы как вспомогательного математического построения, очевидно, может располагаться в произвольной точке пространства, однако построение ее становится значительно нагляднее и легче воспринимается, если представить ее центр расположенным в определенных точках, например: в глазе наблюдателя, в центре Земли или в центре Солнечной системы. В соответствии с этим ее изображения меняются; впрочем перейти от одного изображения к другому очень просто, так как в сущности все они представляют одну и ту же вспомогательную сферу. Изображение небесной сферы с центром в центре Земли имеет историческое происхождение, отвечая представлению древних о системе мира.

Рассмотрим вначале построение небесной сферы в предположении, что ее центр совпадает с глазом наблюдателя на поверхности Земли, а затем перенесем его в произвольную точку. Пусть на рис. 1. представлена Земля, причем $p_n p_s$ — земная ось, точки p_n и p_s — северный и южный географические полюса, eq — земной экватор. Наблюдатель находится в точке A , географическая широта ее $\varphi = \sphericalangle eA$. Если принять Землю за шар, то радиус AC представит направление отвесной линии для данного наблюдателя; плоскость H , касательная к поверхности Земли в точке A и перпендикулярная отвесной линии, представит плоскость истинного или математического горизонта наблюдателя; линия

NS , лежащая в плоскости географического меридиана, и линия $O^st W$, ей перпендикулярная, определяют направления стран света для данного наблюдателя. Положим также, что прямые As'_1 ; As'_2 ; As'_3 ... представляют направления на различные светила s'_1 ; s'_2 ; s'_3 ..., расположенные в пространстве в различных удалениях от наблюдателя.

Построим теперь сферу произвольного радиуса с центром в точке A и проведем через ее центр линии и плоскости, параллельные соответ-

ствующим линиям на Земле. Из рисунка видно, что плоскости истинного горизонта, географического меридиана и плоскость, параллельная экватору, при пересечении сферы образуют большие круги. В таком виде небесная сфера дает геометрическое изображение небесного свода.

Линия $P_N A$, параллельная земной оси, по построению образует с плоскостью H угол, равный географической широте φ . На поверхности сферы можно получить точки s_1 ; s_2 ; s_3 и т. д., представляющие собой проекции на эту сферу видимых направлений из центра сферы на светила. Если подобную сферу привести в движение в направлении с O^st на W , показанном стрелкой, со скоростью

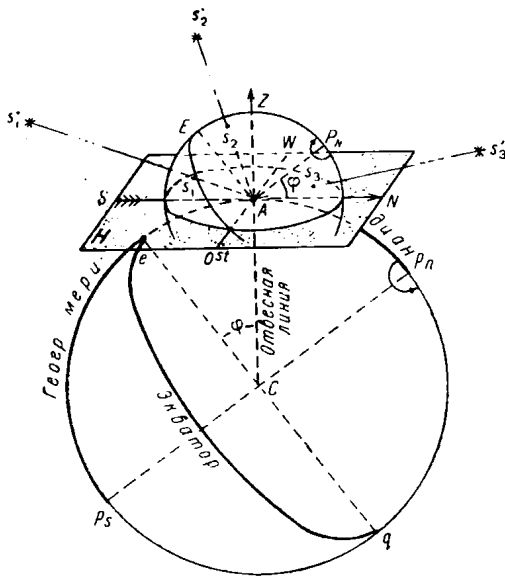


Рис. 1

вращения Земли, то явление суточного движения светил для данного наблюдателя будет воспроизведено с полным подобием.

Однако, как уже отмечалось, для построения небесной сферы и решения задач нет никакой необходимости в помещении ее центра в глазе наблюдателя. Все построения можно выполнить в произвольной точке O пространства. Проведем через точку O (рис. 2) линии и плоскости, параллельные соответствующим направлениям и плоскостям на Земле. Ясно, что полученные точки и линии на сфере взаимно расположатся совершенно так же, как видимые наблюдателем, находящимся в точке A (см. рис. 1). Эта *вспомогательная сфера произвольного радиуса с центром в произвольной точке пространства и нанесенными на ней основными линиями и местами светил, называется небесной сферой*¹.

Пусть на рис. 2 диаметр ZOn проведен параллельно отвесной линии AC (см. рис. 1); пересечение его со сферой дает две точки: **зенит** Z , представляющий высшую точку на сфере (над головой наблюдателя), и **надир** n , — точку, противоположную зениту.

Сечение сферы плоскостью, параллельной истинному горизонту, дает на поверхности сферы большой круг $NO^st SW$, называемый **истинным горизонтом**; этот круг делит сферу на две части: на **надгоризонтную**, в которой расположен зенит, и **подгоризонтную**.

¹ Следует иметь в виду, что в сферической астрономии принято условное изображение сферы (рис. 2), не соответствующее точной ее перспективе, но более удобное.

проходит через точки Z и n , и плоскость всякого вертикала перпендикулярна плоскости истинного горизонта.

Вертикал, проходящий через место данного светила на сфере, называется вертикалом этого светила. Под этим термином мы будем, однако, понимать не весь круг вертикала (в 360°), а лишь ту его половину (от Z до n), на которой расположено данное светило; так, вертикал светила B есть дуга ZBn .

Вертикал, проходящий через точки O^{st} и W , называется **первым вертикалом**, причем линией Zn он разделяется на O^{st} -вую и W -вую части.

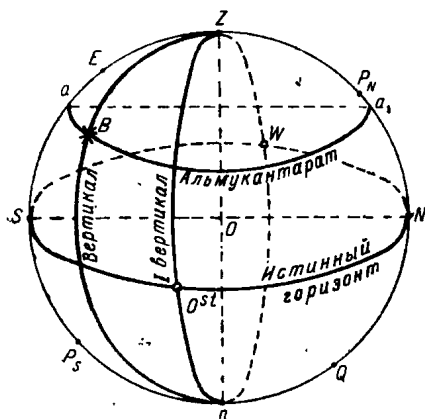


Рис. 3

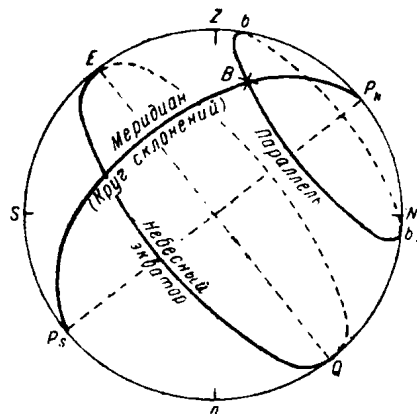


Рис. 4

Малые круги на сфере, плоскости которых параллельны истинному горизонту, называются **альмукантаратами**: тот же из них, который проходит через место данного светила на сфере, называется **альмукантаратом** данного светила (aa_1 на рис. 3).

Большие круги на сфере, плоскости которых проходят через ось мира, называются **небесными меридианами**, или **кругами склонений** (рис. 4). Всякий меридиан проходит, следовательно, через оба полюса P_N и P_S , и плоскость всякого меридиана перпендикулярна плоскости небесного экватора EQ .

Меридиан, проходящий через место данного светила на сфере, называется **меридианом**, или **кругом склонения** этого светила. В дальнейшем мы будем понимать под этим термином не всю дугу в 360° , а лишь ту ее половину от полюса до полюса, на которой расположено светило. Так, меридиан светила B есть дуга P_NBP_S .

Малые круги сферы, плоскости которых параллельны небесному экватору, называются **небесными параллелями** (аналогия с земными параллелями); та же из них, которая проходит через место данного светила на сфере, называется **параллелью** этого светила¹ (bb_1 на рис. 4).

Среди бесчисленного множества меридианов на сфере один заслуживает особого внимания: это меридиан, проходящий через точки Z и n и названный выше меридианом наблюдателя.

Этот меридиан является вместе с тем и вертикалом, проходящим через полюса мира. Занимая для данного наблюдате-

¹ Иногда их называют суточными параллелями, так как светила в суточном движении описывают параллели.

ля вполне определенное и неизменное положение, этот именно меридиан (и вертикаль) послужит в вопросе о координировании светил на сфере как основной меридиан и вертикаль.

§ 2. КООРДИНАТЫ СВЕТИЛ НА НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

В географии и навигации координирование различных точек земной поверхности производится, как известно, по отношению к двум взаимно перпендикулярным большим кругам — экватору и Гринвичскому меридиану, занимающим на поверхности Земли совершенно определенное положение. При выработке координатных систем светил на небесной сфере применен тот же метод: выбираются системы двух взаимно перпендикулярных больших кругов, занимающих вполне определенное положение на небесной сфере. Такими системами кругов являются:

- 1) истинный горизонт и меридиан наблюдателя;
- 2) небесный экватор и меридиан наблюдателя;
- 3) небесный экватор и меридиан, проходящий через некоторую определенную точку сферы (γ).

Эти круги служат основаниями для трех систем координат: **горизонтной и двух экваториальных.**

В сферической астрономии применяются еще и другие системы координат: эклиптическая — с основным кругом эклиптической и галактическая — с основным кругом, близким к середине млечного пути, однако эти системы в мореходной астрономии не применяются. Краткие сведения об эклиптической системе даны в § 14.

I. Горизонтная система координат

В этой системе основным направлением, относительно которого производится все построение, является направление отвесной линии, а основными кругами — истинный горизонт и меридиан наблюдателя. Положение любой точки сферы определяется относительно этих кругов двумя горизонтными координатами: **азимутом** и **высотой**.

1) *Азимутом (A) светила называется дуга истинного горизонта, заключенная между меридианом наблюдателя и вертикалем светила.*

Дуга эта (например ND на рис. 5) измеряет соответствующий центральный угол A , а следовательно, и сферический угол A при зените Z , так что любой из этих углов может быть назван азимутом светила C .

На этом основании *азимутом называют также сферический угол при зените между меридианом наблюдателя и вертикалем светила.*

Существует ряд систем счета азимута, в зависимости от какой точки, в каком направлении и в каких пределах вести счет. В мореходной астрономии применяются три системы счета азимутов: **полукруговой, круговой и четвертной.**

а) В **полукруговом** счете азимут измеряется дугой истинного горизонта от полуночной части меридиана (точки N или S) в сторону O^{st} или W до вертикаля светила от 0 до 180° . Вследствие того, что на горизонте в полуночной части меридиана стоит румб одного наименования с широтой, то *первая буква наименования азимута в полукруговом счете всегда одинакова с наименованием широты наблюдателя.* Вторая буква наименования зависит от того, на какой половине сферы, O^{st} -вой или W -вой, расположено светило. Например, азимут светила C в полукруговом счете (рис. 5) напишется в виде: $A=N 105^\circ O^{st}$. Если наблюдатель расположен в южной широте, то азимут некоторого светила будет записываться: $A=S 105^\circ O^{st}$ и т. п. Полукруговой счет азимутов применяется при решении сферических треугольников по основ-

ным формулам и таблицам логарифмов, а также по специальным таблицам или приборам.

б) В круговом счете азимут измеряется дугой истинного горизонта от точки N в сторону O^{st} до вертикала светила, считаемой от 0 до 360° . Например, $A=105^\circ$. Как видно, этот счет азимутов совпадает со счетом истинных пеленгов в навигации. Круговой счет применяется в вопросах определения поправки компаса.

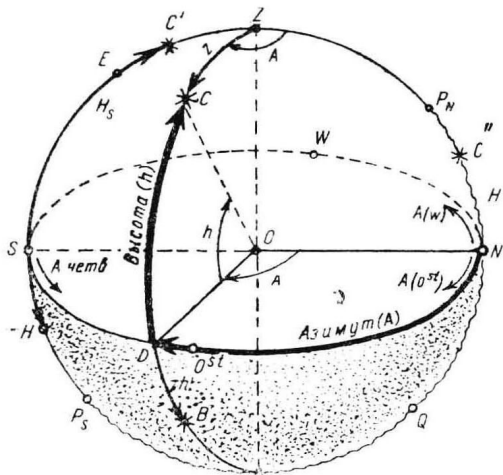


Рис. 5

в) В четвертном счете азимут измеряется дугой горизонта от точек N или S в сторону O^{st} или W до вертикала светила, считая от 0 до 90° , аналогично четвертному счету румбов в навигации. Например, $A=75^\circ SO$ (рис. 5). Четвертной счет применяется в одной из формул метода линий положения.

Переходы от одного счета азимута к другому в мореходной астрономии производятся постоянно, поэтому необходимо научиться пересчитывать азимуты быстро и безошибочно. Например, во всех трех системах одни и те же азимуты светил запишутся:

	Полукруговой		Круговой		Четвертной
1.	N $118^\circ W$	=	242°	=	$52^\circ SW$
2.	S $145^\circ W$	=	325°	=	$35^\circ NW$
3.	S $95^\circ O^{st}$	=	85°	=	$85^\circ NO$

2) *Высотой (h) светила называется дуга его вертикала от истинного горизонта до места светила на сфере. Эта дуга измеряет центральный угол h , поэтому высотой называют также вертикальный угол при центре сферы между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило.*

Например, высота светила C есть дуга DC или центральный угол DOC ; записывается высота так: $h=47^\circ$.

Если светило находится в надгоризонтной части сферы, то его высота считается положительной (светило C); если же светило расположено в подгоризонтной части (светило B), то его высота считается отрицательной; в этом случае ее часто называют снижением.

Из самого определения видно, что никакое светило не может иметь высоту, численно большую 90° . Высоту $+90^\circ$ имеет точка зенита, высоту -90° — точка надира; высота любой точки горизонта равна 0° .

Вместо высоты, в качестве такой же координаты светила может быть взята дуга вертикала светила, от зенита до места светила; дуга эта называется **зенитным расстоянием** и обозначается z . Так, зенитное расстояние светила C равно $\sphericalangle ZC$ и т. д.

Зенитное расстояние светила измеряется от 0 до 180° ; если светило в надгоризонтной части (C), то его $z < 90^\circ$, если же в подгоризонтной (B), то $z > 90^\circ$. Для любой точки горизонта $z=90^\circ$, для самой точки зенита $z=0^\circ$, для точки надира $z=180^\circ$.

Высота и зенитное расстояние, как это нетрудно видеть из чертежа, всегда являются дополнениями друг друга до 90° , т. е.

$$\text{или} \quad \left. \begin{aligned} z &= 90^\circ - h \\ h &= 90^\circ - z \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

В этих формулах высоту надо принимать со своим знаком. Так, если $h=47^\circ$, то $z=43^\circ$, если $h=-29^\circ$, то $z=90^\circ - (-29^\circ) = 119^\circ$; и т. п.

Если светило находится на меридиане наблюдателя (светило C' или C''), то его высота называется меридиональной высотой и обозначается через H ; зенитное его расстояние при этом называется также меридиональным зенитным расстоянием (Z).

Меридиональной высоте H и меридиональному зенитному расстоянию приписываются наименования N или S: меридиональной высоте H — по той точке горизонта, над которой эта высота измеряется; меридиональному зенитному расстоянию — обратное. Так, на рис. 5 светило C' имеет S-вую меридиональную высоту $H=65^\circ S$ или $Z=25^\circ N$.

Рассмотренные горизонтные координаты A и h вполне определяют положение точки на сфере. Одна же координата определяет положение какого-либо одного круга сферы: азимут — положение вертикала, высота — положение альмукантарата.

II. Первая экваториальная система координат

В этой системе основным направлением является направление оси мира, а основными кругами — небесный экватор EQ и меридиан наблюдателя (рис. 6). Положение любой точки сферы в этой системе определяется двумя экваториальными координатами: **часовым углом** и **склонением**.

1) *Часовым углом (t) светила называется дуга экватора, отсчитываемая от полуденной части меридиана наблюдателя в сторону точки W до меридиана светила.*

Вследствие того, что эта дуга ($EWQD$, рис. 6) измеряет угол при центре сферы или сферический угол при повышенном полюсе, *часовым углом называют также сферический угол при повышенном полюсе между полуденной частью меридиана наблюдателя и меридианом светила.*

Часовой угол, считаемый в сторону точки W , может иметь величину от 0 до 360° и называется вестовым или обыкновенным часовым углом. Если вестовый часовой угол больше 180° , то его дополнение до 360° называют остовым часовым углом; например, светило C (рис. 6) имеет: $t=255^\circ W=105^\circ O^{st}$. Остовый часовой угол никогда не может быть больше 180° .

Часовой угол, O^{st} -й или W -й, но меньший 180° , применяется при решении сферического треугольника, поэтому его называют **практическим часовым углом** (соответственно O^{st} или W). Очевидно, что для светила, расположенного на полуденной части меридиана, часовой угол $t=0^\circ$; для полуденной $t=180^\circ$; для точки W — $t=90^\circ W$; для точки O^{st} — $t=270^\circ W=90^\circ O^{st}$.

2) *Склонением (δ) светила называется дуга меридиана (круга склонений) светила от небесного экватора до места светила.*

Вследствие того, что эта дуга измеряет центральный угол δ (см. рис. 6) в плоскости меридиана, то *склонением светила называют также угол между плоскостью небесного экватора и направлением из центра сферы на светило*. Если светило находится в северном полушарии, то его склонению приписывается наименование N, если в южном — то S.

