

Лекция 1

Основы морской навигации. Фигура и размеры Земли. Счет направлений в море. Системы координат. Понятие об ортодромии и локсодромии.

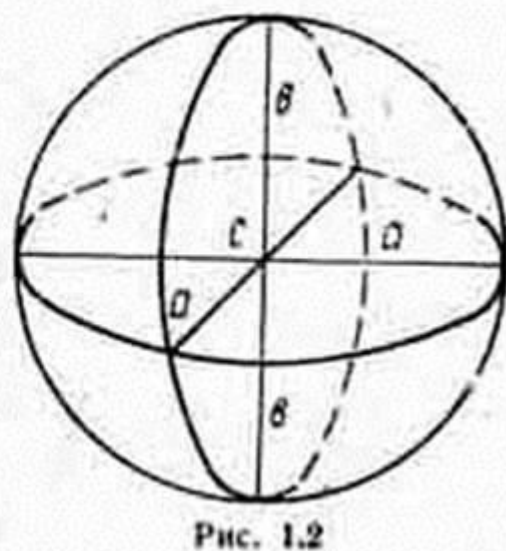
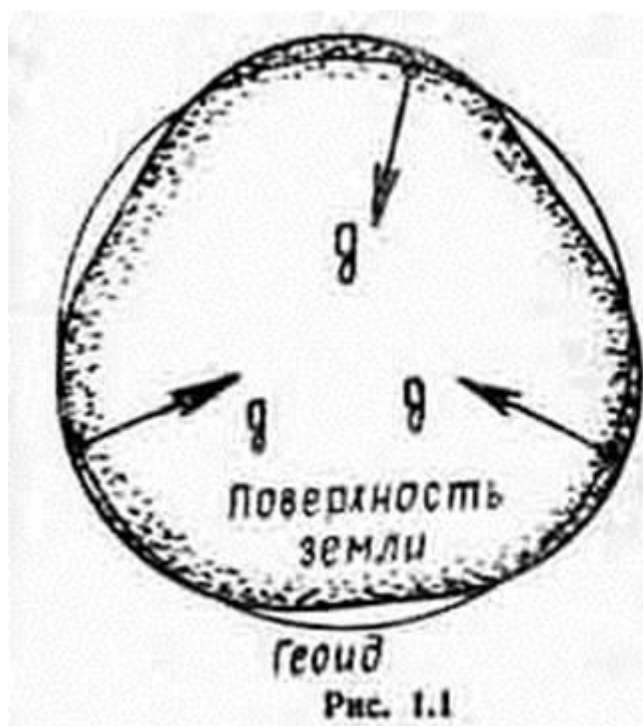
1.1 Фигура и размеры Земли

Корабли совершают плавание по водной поверхности Земли. Поэтому для расчета наивыгоднейшего и безопасного пути корабля необходимо знать форму и размеры Земли. Земля имеет неправильную геометрическую форму, но совпадающую с формой ни одного из известных геометрических тел, и, следовательно, не может быть представлена в виде правильной геометрической фигуры.

Неправильная в математическом отношении фигура, образованная уровенной поверхностью морей и океанов, мысленно продолженной подо все материки, называется геоидом (рис. 1.1).

Поверхность геоида во всех точках перпендикулярна отвесной линии.

Вследствие неправильности формы геоида обработка измерений, относимых к его поверхности, очень сложна. Поэтому при решении основных задач кораблевождения пользуются сходностью геоида с математически правильным телом - эллипсоидом вращения (сфероидом) - фигурой, образованной вращением эллипса вокруг малой оси (рис. 1.2).



Эллипсоид вращения определенных размеров, принятый за фигуру Земли в данном государстве, называется референц-эллипсоидом.

В Советском Союзе с 1946 г. в качестве референц-эллипсоида принят эллипсоид Ф. Н. Красовского с размерами:

- большая полуось $a=6378245$ м;

- малая полуось $b=6306863$ м;

- полярное сжатие (относительная разность полуосей)

$$\alpha = \frac{(a-b)}{b} = \frac{1}{298,3}$$

- эксцентриситет

$$e = \sqrt{a^2 - b^2} / a = 1 / \sqrt{149,15} \approx 0.0816$$

Референц-эллипсоид Красовского имеет максимальное отклонение от геоида, не превышающее 100-150 м. Этот эллипсоид принят за модель Земли и в ряде других стран (в Польше, Венгрии, Болгарии, Румынии и др.).

При решении большинства задач навигации Землю принимают за шар. Если предположить, что объем Земли-шара равен объему земного сфероида (референц-эллипсоида Красовского), то радиус Земли-шара находится из уравнения

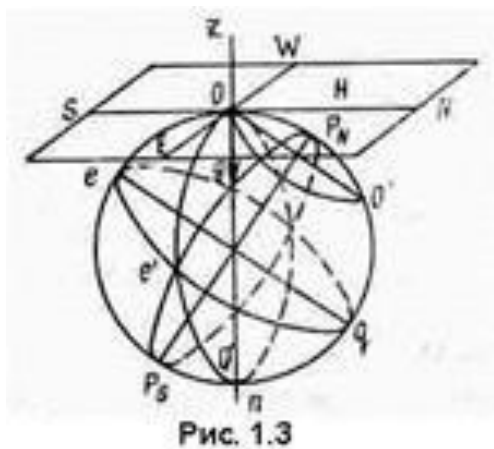
$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi a^2 b$$

В этом случае $R=6371,1$ км.

1.2 Счет направлений в море

Для ориентирования наблюдателя на земной поверхности используются следующие условные точки, линии и плоскости (рис. 1.3).

Земная ось - воображаемая прямая $P_N P_S$, вокруг которой происходит суточное вращение Земли. Эта ось совпадает с малой осью земного эллипсоида.



Географические полюса Земли P_N и P_S - точки пересечения земной оси с поверхностью Земли. Полюс P_N , со стороны которого вращение Земли усматривается против движения часовой стрелки, называется Северным, противоположный полюс P_S - Южный.

Параллели - линии OO' , образованные пересечением плоскостей, перпендикулярных к земной оси, с поверхностью земного эллипсоида.

Экватор - наибольшая параллель eq , плоскость которой проходит через центр Земли.

Плоскости истинных (географических) меридианов - плоскости, проходящие через земную ось.

Меридиан наблюдателя - меридиан, проходящий через место наблюдателя. Если, например, наблюдатель находится в точке O , то меридианом этого наблюдателя являются линия P_NOP_SO' .

Вертикальная (или отвесная) линия - прямая ZOn , совпадающая с направлением силы тяжести в данной точке.

Зенит наблюдателя Z и надир n - точки пересечения отвесной линии с воображаемой небесной сферой.

Плоскость истинного горизонта наблюдателя - горизонтальная плоскость H , проходящая через место наблюдателя перпендикулярно отвесной линии.

Полуденная линия - линия NS , образованная пересечением плоскостью меридиана наблюдателя плоскости истинного горизонта. Направление от O к N называется северной частью истинного меридиана, а направление от O к S - южной частью истинного меридиана.

Плоскости вертикалов, или вертикальные плоскости - плоскости, проходящие через отвесную линию.

Плоскость первого вертикала - вертикальная плоскость Q , перпендикулярная плоскости меридиана наблюдателя. Линия восток-запад EW - линия пересечения плоскостью первого вертикала плоскости истинного горизонта наблюдателя. Эта линия соответствует направлениям из места наблюдателя на восток и на запад.

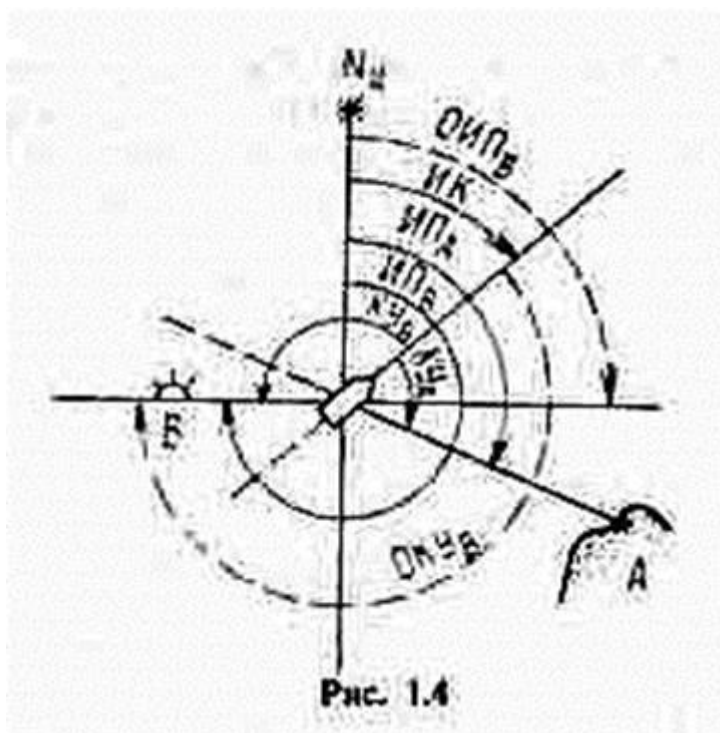
Полуденная линия NS и линия EW являются главными направлениями (румбами).

Относительно указанных точек, линии и плоскостей определяется положение объектов на земной поверхности и задаются направления с одной точки на другую.

К основным направлениям, принятым в кораблевождении, относятся курс, пеленг и курсовой угол.

Истинным курсом корабля ($ИК$) называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана и диаметральной плоскостью корабля по направлению его движения (рис. 1.4).

Истинным пеленгом ($ИП$) называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана и направлением на объект. Направление, отличающееся от истинного пеленга на 180° , называется обратным истинным пеленгом ($ОИП$).



Объектами пеленгования могут быть навигационные ориентиры, корабли, суда и предметы в море, имеющие значение для обеспечения безопасности плавания и боевой деятельности корабля.

Курсовым углом ($KУ$ или q) называется угол в плоскости истинного горизонта между носовой частью диаметральной плоскости корабля (линией курса) и направлением на объект (линией пеленга).

Истинные курсы и пеленги отсчитываются, как правило, в круговой системе отсчета от 0 по ходу часовой стрелки до 360° . По круговой системе градуируются отсчетные шкалы систем курсоуказания, шкалы и лимбы средств зрительного и технического наблюдения, служащие для определения направлений в море. Курсовые углы отсчитываются в полукруговой системе от 0 до 180° с указанием наименования борта. При вычислениях курсовым углом правого борта присваивается знак "плюс", курсовым углом левого борта - знак "минус".

Например, курсовой угол 45° л. б. может быть записан так: $KУ = q = -45^\circ$, курсовой угол 110° п.б. - $KУ = q = +110^\circ$.

Некоторые средства пеленгования и наблюдения имеют шкалы курсовых углов, отградуированные в круговой системе отсчета (магнитные компасы, перископы, визиры, радиопеленгаторы и т. п.). Началом отсчета является диаметральная плоскость корабля.

Между истинным курсом, истинным пеленгом и курсовым углом существует зависимость, выраженная формулами:

$$ИП = ИК + КУ; ИК = ИП - КУ; КУ = ИП - ИК. (1.1)$$

Формулы (1.1) алгебраические. Это значит, что аргументы подставляются со своими знаками. Если в результате расчета $ИП$ или $ИК$ получится со знаком "минус", берется их дополнение до 360° со знаком "плюс". Если $КУ$ получится больше 180° , его нужно вычесть из 360° и изменить направление борта.

Направление на объект, перпендикулярное диаметральной плоскости корабля ($KU=90^\circ$ левого или правого борта), называется траверзом.

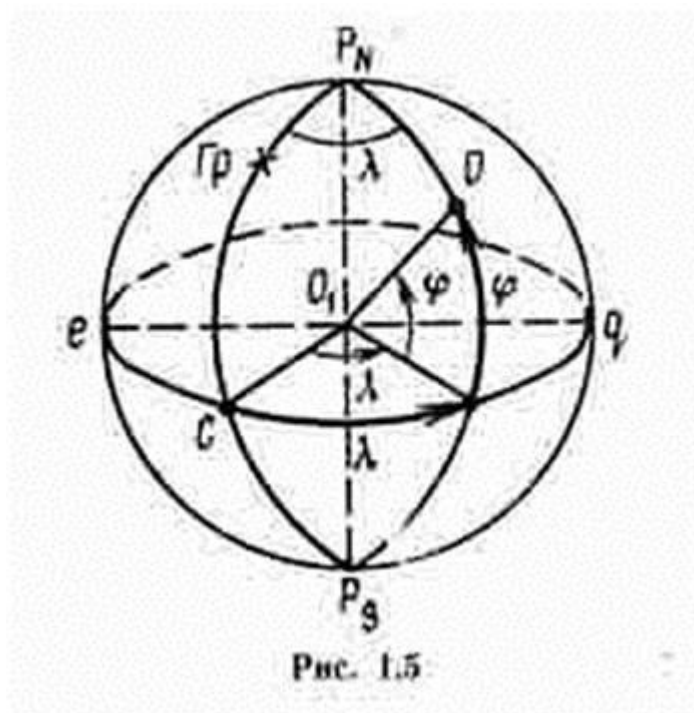
Истинный и обратный истинный пеленги связаны соотношениями:

$$ИП = ОИП \pm 180^\circ; ОИП = ИП \pm 180^\circ.$$

1.3 Системы координат

В кораблевождении основными являются географическая и полярная системы координат. Географическая система координат отнесена к земному эллипсоиду.

В географической системе координат положение точки на поверхности Земли определяется широтой и долготой (рис. 1.5).



Координатными осями в этой системе являются экватор eCq и начальный меридиан, за который принят меридиан Гринвича (меридиан P_NCP_S).

Географической широтой j точки называется угол между плоскостью экватора и нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке. Широта измеряется дугой меридиана от экватора до параллели данной точки. Счет широты ведется в градусах, минутах и десятых долях минуты в пределах от 0 до 90° (от экватора до полюсов). Широтам Северного полушария приписывается наименование *North* (*N*) или знак "плюс" (при вычислениях), широтам Южного полушария - наименование *South* (*S*) или знак "минус".

Географической долготой l точки называется двугранный угол между плоскостью Гринвичского меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Долгота измеряется меньшей дугой экватора от Гринвичского меридиана до меридиана данной точки. Счет долгот ведется в градусах, минутах и десятых долях минуты в пределах от 0 до 180° . Долготам Восточного полушария приписывается наименование *East* (*E*) или знак "плюс", долготам Западного полушария - наименование *West* (*W*) или знак "минус".

Пример записи географических координат:

$$j = 59^{\circ}46,3'N; l = 28^{\circ}14,0'W$$

или

$$j = +59^{\circ}46,3'N; l = -28^{\circ}14,0'W$$

В полярной системе координат место заданной точки определяется по направлению и расстоянию относительно другой точки. Чаще всего полярная система координат применяется при определении места корабля относительно подвижного объекта.

При переходе корабля морем его место непрерывно изменяется. В связи с этим изменяются географические координаты корабля. Изменение географических координат определяется разностью географических широт и разностью географических долгот.

Если рассматривается плавание корабля из точки O_1 в точку O_2 (рис. 1.6), то за начальную точку принимается пункт отхода (точка O_1), а за конечную - пункт прихода (точка O_2).

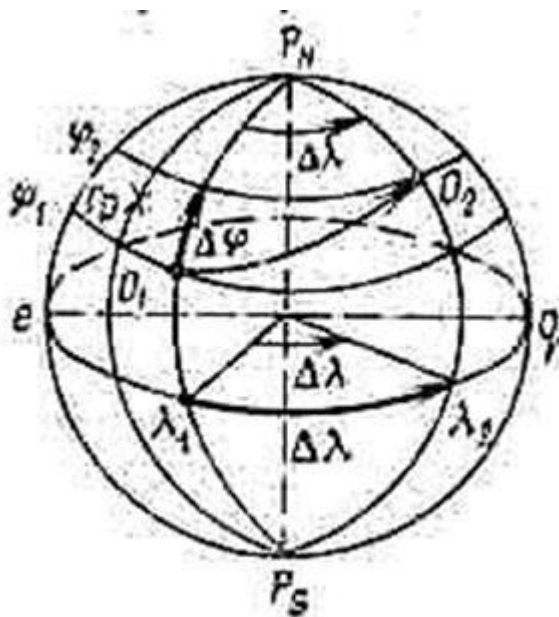


Рис. 1.6

Разностью широт ($PШ$ или Dj) двух заданных точек называется меньшая дуга меридиана, заключенная между параллелями этих точек. Дуга, определяющая разность широт, направлена от параллели начальной точки к параллели конечной точки. Если это направление совпадает с направлением на Северный географический полюс, то независимо от полушария, в котором находятся точки, $PШ$ имеет наименование *North* (к N) или знак "плюс". Если дуга меридиана направлена на Южный географический полюс, то $PШ$ имеет наименование *South* (к S) или знак "минус".

$PШ$ и ее знак определяются по алгебраической формуле

$$PШ = Dj = j_1 - j_2. \quad (1.2)$$

$PШ$ изменяется в пределах от 0 до $\pm 180^{\circ}$.

Разностью долгот ($PД$ или DI) двух заданных точек называется меньшая дуга экватора, заключенная между меридианами этих точек. Дуга, определяющая разность долгот, направлена от меридиана начальной точки к меридиану конечной точки. Если это

направление совпадает с направлением на восток, то независимо от полушария, в котором находятся точки, $PД$ имеет наименование *East* (к *E*) или знак "плюс". Если дуга экватора направлена на запад, то $PД$ имеет наименование *West* (к *W*) или знак "минус".

$PД$ и ее знак рассчитываются по алгебраической формуле

$$PД = D_l = l_1 - l_2. \quad (1.3)$$

$PД$ изменяется в пределах от 0 до 180°.

Если результат расчета по формуле (1.3) окажется больше 180°, то искомая $PД$ равна дополнению полученного результата до 360°, при этом полученный по формуле знак меняется на противоположный.

Формулы (1.2) и (1.3), представленные в виде равенств:

$$j_2 = j_1 + PШ = j_1 + D_j;$$

$$l_2 = l_1 + PД = l_1 + D_l,$$

используются для расчета координат конечной точки.

1.4 Понятие об ортодромии и локсодромии

Решение основных задач кораблевождения связано с определением линий (траекторий), проходящих через две заданные точки на земной поверхности и удовлетворяющих определенным требованиям. Такими линиями являются ортодромия и локсодромия.

1.4.1 Ортодромия

На поверхности сферы кратчайшим расстоянием между двумя точками является дуга большого круга, образованного пересечением плоскостью, проходящей через центр сферы и заданные точки, сферической поверхности.

Дуга большого круга в кораблевождении называется ортодромией (в переводе с греческого - "прямой путь").

Через три точки (две заданные на поверхности Земли и центр Земли-шара) можно провести только одну плоскость. Следовательно, через две точки на земной поверхности $B_1 (j_1, l_1)$ и $B_2 (j_2, l_2)$ можно провести только одну ортодромию MB_1B_2V (рис. 1.7). Уравнение ортодромии, связывающее координаты точек, лежащих на ней, определяется по формуле сферической тригонометрии.

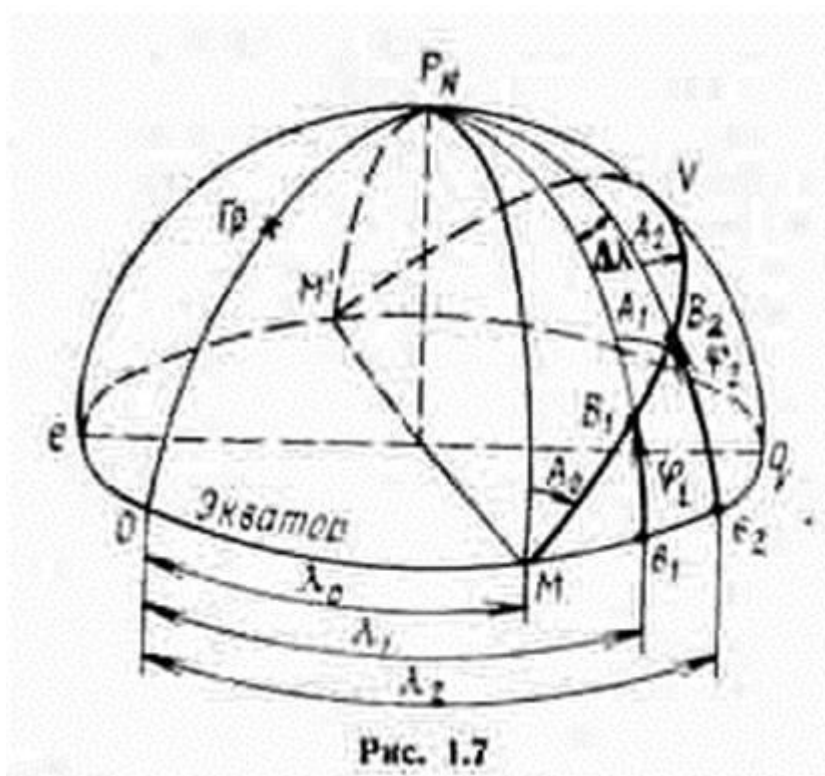


Рис. 1.7

Из рис. 1.7 следует, что при направлении $A_0=0^\circ$ (точки B_1 и B_2 на одном меридиане) ортодромия совпадает с меридианом, при $A_0=90^\circ$ (точки B_1 и B_2 на экваторе) ортодромия совпадает с экватором. Ортодромия достигает максимальной широты в точке V , называемой вертексом. Меридиан вертекса является осью симметрии ортодромии. Ортодромия пересекает каждый меридиан только один раз (в одной точке). Одна и та же ортодромия пересекает меридиан под разными углами ($A_0^1 A_1^1 A_2$). Разность углов, под которыми ортодромия пересекает меридианы двух точек, называется сближением меридианов g . Угол сближения меридианов точек B_1 и B_2 равен $g = A_2 - A_1$.

Ортодромия используется при расчете плавания по кратчайшему пути, а также при определении места корабля по радиопеленгам.

1.4.2 Локсодромия

Локсодромия - кривая на поверхности Земли, пересекающая все меридианы под одним и тем же углом K (рис. 1.8). Локсодромия - греческое слово, означающее "кривой путь". Эта линия представляет собой траекторию пути корабля, совершающего плавание в неизменном направлении относительно всех меридианов.

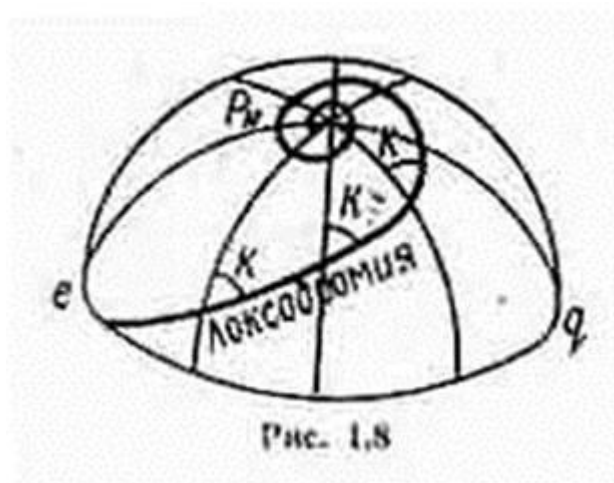
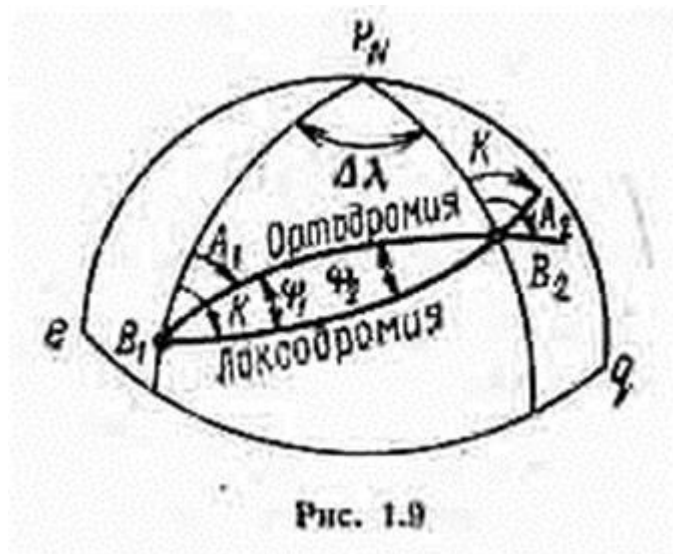


Рис. 1.8

При $K=0^\circ$ (180°) локсодромия совпадает с меридианом и ортодромией. При $K=90^\circ$ (270°) локсодромия совпадает с параллелью.

При любых других курсах локсодромия пересекает каждый меридиан бесчисленное множество раз и каждый раз в новой широте, т. е. локсодромия является логарифмической спиралью, стремящейся к полюсу.



Если через заданные точки $B_1(j_1, l_1)$ и $B_2(j_2, l_2)$ провести ортодромию и локсодромию (рис. 1.9), то эти кривые пересекутся под некоторым углом $y(A_1^1K)$. Этот угол называется ортодромической поправкой. Она служит для перехода от ортодромических направлений к локсодромическим и обратно:

$$\text{Лок } \Pi = \text{Орт } \Pi + y; \quad \text{Орт } \Pi = \text{Лок } \Pi - y.$$

Значения ортодромической поправки приведены в табл. 23а, 23б МТ-75.

1.5 Единицы длины и скорости, принятые в кораблевождении

Для решения навигационных задач, связанных с движением и ориентированием корабля на водной поверхности Земли, необходимо измерять и рассчитывать расстояния. В качестве морской единицы длины в кораблевождении используют так называемую стандартную морскую милю, то есть среднюю величину одной минуты меридиана земного эллипсоида.

В СССР длина стандартной морской мили принята равной 1852 м (длина одной минуты меридиана референц-эллипсоида Красовского в широте $44^\circ 18'$).

Для измерения сравнительно малых расстояний используется кабельтов, составляющий одну десятую часть морской стандартной мили.

Единица длины метр в кораблевождении применяется для указания глубины моря, глубины под килем, высоты знаков, маяков и т. д.

Со времен парусного флота за единицу скорости принят узел. Он соответствует скорости, при которой корабль проходит одну стандартную милю за один час:

$$1 \text{ уз} = 1 \text{ миля} / 1 \text{ ч} = 0,17 \text{ каб/мин} = 0,51 \text{ м/с} = 1,85 \text{ км/ч}.$$

Эти соотношения приведены в табл. 37 МТ-75. При решении многих задач удобно пользоваться скоростью в кабельтовых в минуту:

$$V \text{ каб/мин} = V \text{ уз}/6; V \text{ уз} = 6 V \text{ каб/мин}.$$

Лекция 2

1.6 Классификация и содержание морских карт

Для изучения районов плавания и выбора наивыгоднейшего пути корабля, а также для производства расчетов при решении различных задач кораблевождения применяются морские карты, навигационные пособия и руководства.

Картой называется уменьшенное изображение поверхности Земли или ее отдельных участков на плоскости, выполненное по определенному математическому закону.

Все морские карты по назначению делятся на три группы: навигационные карты, карты планирования и управления силами флота (специальные карты) и справочные (или вспомогательные) карты.

Навигационные карты служат для решения главной задачи кораблевождения - обеспечения безопасности плавания корабля в море.

В зависимости от масштаба различают следующие навигационные карты:

- генеральные (масштаб 1 : 1 000 000 - 1 : 5 000 000) - для общего изучения условий плавания и предварительной прокладки;
- путевые (масштаб 1 : 500 000 - 1 : 100 000) - для обеспечения кораблевождения в прибрежных зонах;
- частные (масштаб 1 : 50 000 - 1 : 25 000) - для обеспечения кораблевождения в непосредственной близости от берегов, при проходе узкостей, при плавании в шхерах;
- планы (масштаб 1 : 25 000 м и крупнее) - для руководства при входе в порты, гавани и при передвижении в пределах этих акваторий.

Карты планирования и управления силами флота (специальные карты) предназначены для обеспечения оперативно-тактической деятельности штабов, кораблей и частей ВМФ. К ним относятся обзорные карты, карты с сетками ПВО и другие.

Справочные (или вспомогательные) карты служат для решения частных задач кораблевождения. К таким картам относятся:

- бланковые карты-карты с облегченной нагрузкой для составления справочных материалов;
- карты грунтов;
- карты радионавигационных систем;
- карты часовых поясов;
- карты-сетки.

Морские карты издаются Центральным картографическим производством ВМФ и являются одним из основных источников информации об элементах Мирового океана, о

навигационно-гидрографических и физико-географических условиях плавания в различных районах.

Совокупность всех наносимых на карту элементов составляет содержание карты. На карту наносятся:

- общегеографические элементы-береговая черта, рельеф и гидрография суши (реки, озера, каналы), населенные пункты;
- морские элементы-характер береговой черты, рельеф дна (глубины и изобаты), характер грунта, навигационные опасности (отмели, рифы, скалы, банки, затонувшие суда и т. п.), запретные и опасные районы, фарватеры, рекомендованные курсы;
- гидрологические элементы-течения, сведения о приливах, границы распространения льдов;
- средства навигационного оборудования и естественные навигационные ориентиры (маяки, вехи, мерные линии, высоты гор и т. п.);
- сетки изолиний для определения места корабля;
- магнитное склонение;
- заголовок карты, оцифровка вертикальных и горизонтальных рамок карты, год издания и печати карты, дата корректуры.

Вся информация наносится на карту в виде условных знаков, расшифровка которых приводится в пособии Условные знаки морских карт и карт внутренних водных путей (изд. Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР).

Степень полноты и подробности содержания карты называют нагрузкой карты. Нагрузка карты зависит от назначения и масштаба карты.

Нарезка карт по районам Мирового океана указывается в каталоге карт и книг.

При оценке достоинства карты и степени доверия к ней учитываются год издания и печати, дата последней корректуры, масштаб, подробность промера и полнота требуемой информации.

1.7 Понятие о построении карт меркаторской проекции

Основой карты является картографическая сетка. Какие требования необходимо предъявить к картографической проекции, чтобы она в наибольшей степени соответствовала простоте и точности выполнения графических построений на карте?

Линия курса пересекает меридианы под одним и тем же углом. Поэтому отобразить линию пути корабля, идущего постоянным курсом, это значит провести на карте локсодромию, соответствующую данному курсу. Это выполняется наиболее просто, если локсодромия изображается на карте в виде прямой линии. Отсюда первое основное требование к картографической проекции морской навигационной карты: локсодромия должна изображаться на карте прямой линией. Для этого меридианы на карте должны изображаться параллельными прямыми, а параллели - прямыми, перпендикулярными меридианам.

Процесс кораблевождения связан с измерением на земной поверхности различных углов и направлений, которые затем прокладываются на карте. Это выполняется наиболее просто, если углы, измеренные на местности, равны соответствующим углам на карте. Отсюда

второе основное требование к картографической проекции морской навигационной карты: проекция должна быть равноугольной.

Выполнению этого требования в наибольшей степени способствует опознание обстановки на местности и на карте и обуславливает прямоугольность картографической сетки. Действительно, меридианы и параллели пересекаются на земной поверхности под углом 90° , следовательно, при равноугольности проекции под таким же углом они пересекаются и на карте.

Указанным требованиям удовлетворяет прямая равноугольная цилиндрическая проекция, разработанная голландским картографом Герардом Кремером (1512-1594), известным под именем Меркатор.

Для уяснения принципа построения проекции Меркатора (меркаторской проекции) примем Землю за шар и будем рассматривать ее модель - условный глобус. Пусть цилиндр касается условного глобуса по экватору eq (рис. 1.10, а). При этом ось цилиндра совпадает с осью условного глобуса. Меридианы условного глобуса спроектируем на боковую поверхность цилиндра так, чтобы каждая проекция оставалась в плоскости меридиана. Подобным же образом спроектируем и параллели. При этом каждая параллель, кроме экватора, как бы растягивается до размеров экватора.

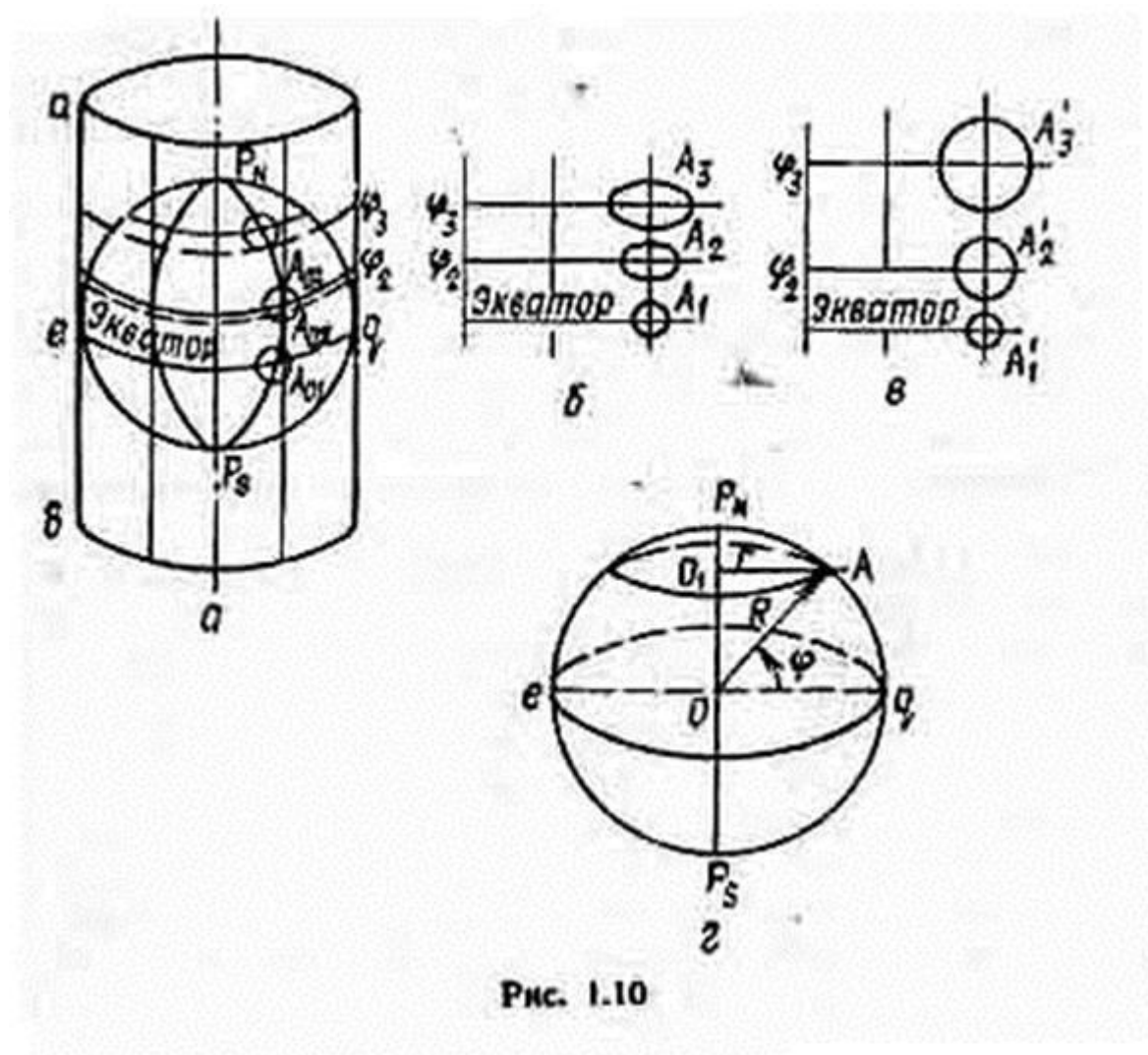


Рис. 1.10

Выясним закон растяжения параллелей. Из рис. 1.10, г (прямоугольный треугольник OAQ_1) видно, что

$$r = R \cos j; \quad R = r \sin j, \quad (1.4)$$

где R - радиус Земли; r - радиус параллели в широте j .

Умножим обе части равенства (1.4) на 2π . Получим $2\pi R = 2\pi r \sec j$, где $2\pi R$ - длина экватора; $2\pi r$ - длина параллели в широте j .

Следовательно, параллель, удлиняясь до длины экватора, растягивается пропорционально $\sec j$. Чем больше широта параллели, тем меньше ее длина и тем больше она растягивается при переносе ее на цилиндр. Если после этого разрезать цилиндр по любой из образующих, например по ab , и развернуть цилиндр на плоскость, получившаяся на этой плоскости картографическая сетка будет иметь вид взаимно перпендикулярных прямых линий (рис. 1.10, б). Экватор при проектировании на цилиндр не растягивается, поэтому элементарно малый круг, расположенный на нем в точке A_{01} изобразится таким же кругом на карте - кругом A_1 . Произвольная параллель j_2 растянута (искажена), поэтому элементарно малый круг A_{02} , расположенный на этой параллели, изобразится на карте вытянутым вдоль параллели эллипсом A_2 . Чем больше широта j , тем больше растяжение параллели и, следовательно, тем сильнее проявляется искажение круга при его переносе на плоскость. Это значит, что требование равноугольности не выполнено. Чтобы проекция обладала свойством равноугольности, необходимо меридианы в каждой точке вытянуть пропорционально растяжению параллели этой точки. Удлинение меридианов в широте j должно быть таким, чтобы эллипс A_2 превратился в круг A_2' (рис. 1.10, б). Чем больше широта, тем сильнее растянута параллель и, следовательно, тем больше должен быть вытянут меридиан. В результате одинаковые элементарно малые круги, расположенные на различных параллелях условного глобуса, изобразятся на карте кругами разных размеров, увеличивающихся с широтой. Это свидетельствует о том, что масштаб полученной карты изменяется пропорционально широте. По этой причине остров Гренландия на карте в меркаторской проекции изображается по размерам примерно таким же, как Африка, хотя в действительности ее площадь в 15 раз больше площади Гренландии.

Полученная таким образом проекция является прямой (ось цилиндра совмещена с осью Земли), равноугольной (элементарно малый круг на Земле изображается кругом на карте), цилиндрической (меридианы и параллели - взаимно перпендикулярные прямые).

Можно ли построить меркаторскую проекцию для приполюсных участков Земли?

При $j=90^\circ$ ($\sec j = \infty$) меридианы вытягиваются бесконечно. Прямую меркаторскую проекцию для приполюсных участков Земли построить невозможно. Карты приполюсных участков можно выполнить в поперечной меркаторской проекции, для которой $j = 0^\circ$, $\sec j = 1$. При построении и использовании карт в данной проекции применяется система квазигеографических координат.

Вертикальной (боковой) рамкой карты, выполненной в меркаторской проекции, является шкала широты. Известно, что одна минута широты соответствует длине морской мили. Следовательно, шкала широты одновременно является и шкалой линейных единиц длины, выраженных в морских милях.

Длина географического изображения одной минуты широты на меркаторской проекции называется меркаторской милей.

В соответствии с принципами построения меркаторской проекции меркаторская миля, являясь масштабным отображением морской стандартной мили, увеличивается с увеличением широты.

При измерении расстояний на карте необходимо пользоваться шкалой вертикальной рамки в том диапазоне широт, в котором находится измеряемый отрезок.

Горизонтальной (нижней или верхней) рамкой карты, выполненной в меркаторской проекции, является шкала долготы.

Длина одной минуты дуги земного экватора называется экваториальной или географической милей. Длина экваториальной мили равна $D|_{\varphi'} = R_{\varphi} \arcsin 1' = 6378245 (1 / 3437,75) = 1855,36 \text{ м.}$

Радиус R_{φ} экватора - величина постоянная, поэтому экваториальная миля также постоянна.

Лекция 3

2.1 Назначение и классификация технических средств навигации

Под корабельными техническими средствами навигации (ТСН) понимаются навигационные комплексы или совокупность корабельной навигационной аппаратуры, предназначенные для выработки навигационных параметров. Навигационные параметры представляют собой совокупность величин, характеризующих место и перемещение судна в заданной системе координат. К таким величинам относят курс, скорость, углы качки корабля, его координаты, глубину под килем, пеленг на ориентир и т. п.

В зависимости от целей работы, особенностей устройства и сложности все ТСН можно условно разделить на три большие группы (рис. 2.1).

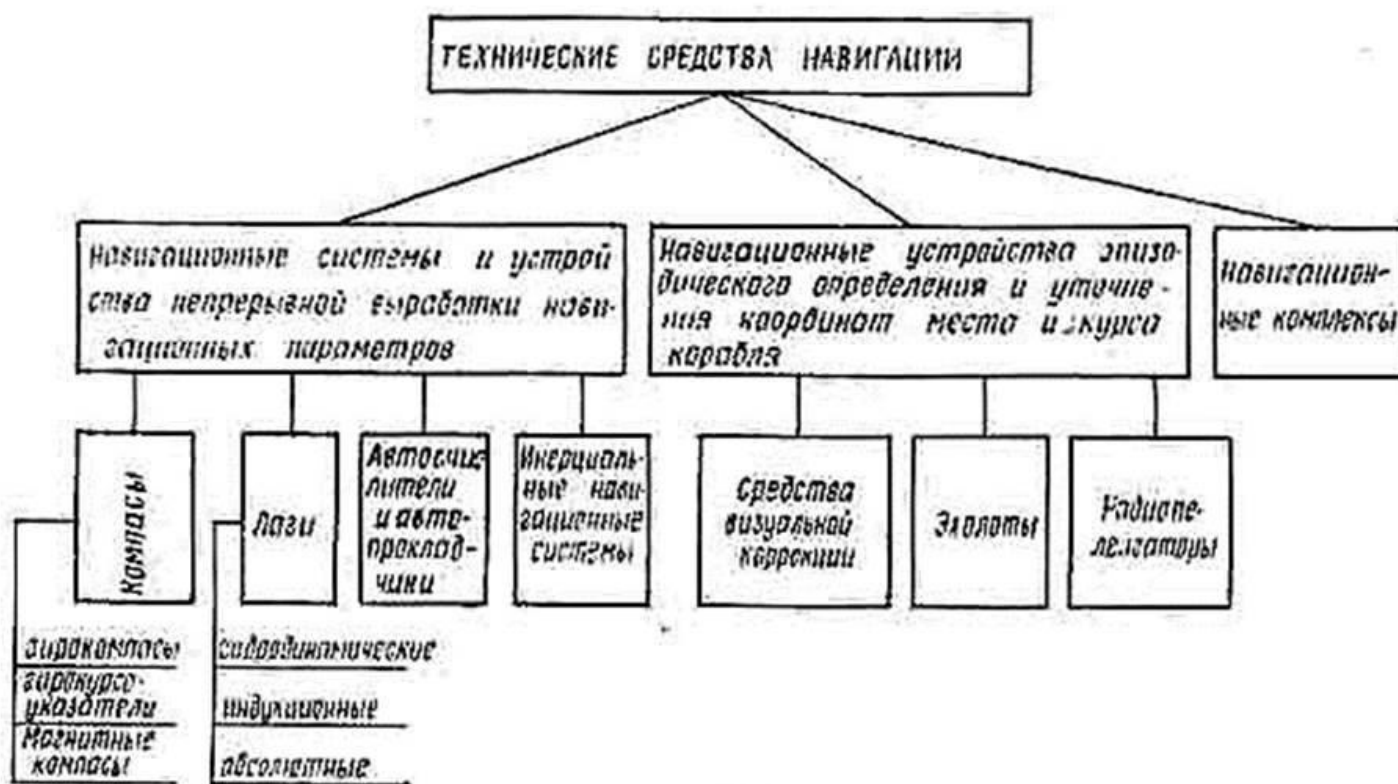


Рис. 2.1

Навигационные системы и устройства непрерывной выработки навигационных параметров обеспечивают автономную непрерывную выработку требуемой информации в течение всего времени плавания корабля. Для периодической коррекции этой информации используются

навигационные устройства эпизодического определения и уточнения координат места и поправки курса.

Для получения навигационных параметров с максимальной точностью производится комплексирование отдельных ТСН в единый навигационный комплекс (НК). Создание НК определило качественно новый этап в развитии ТСН.

2.2. Компасы

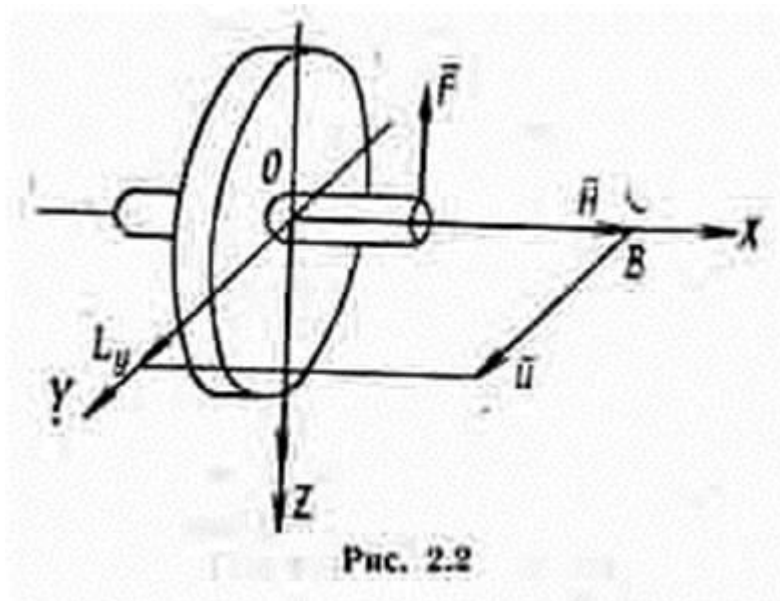
Компасом называется навигационное устройство, предназначенное для определения курса корабля.

2.2.1 Гирокомпасы

Гирокомпасом называется навигационное устройство с гироскопическим чувствительным элементом, предназначенное для определения курса корабля.

Принцип действия гирокомпасов основан на использовании свойств гироскопа, гравитационного поля Земли и ее суточного вращения вокруг своей оси.

Гироскоп (рис. 2.2) представляет собой быстро вращающееся твердое тело, имеющее ось симметрии OX и подвешенное в неподвижной относительно его основания точке O , лежащей на оси OX .



Неподвижная точка O называется точкой подвеса гироскопа. Если центр масс гироскопа совпадает с точкой подвеса O , то он называется астатическим. Астатический гироскоп, на который не действуют моменты внешних сил, является свободным гироскопом.

Динамические свойства гироскопа определяются его параметрами, основными из которых являются угловая скорость W , момент инерции J и кинетический момент $H = JW$.

Величина H влияет на проявление свойств гироскопа. Первое свойство - устойчивость положения главной оси свободного гироскопа относительно инерциального пространства (инерциальной системы координат). Под инерциальной системой координат понимается система координат, ориентированная неподвижно относительно звезд.

С использованием теоремы об изменении количества движения твердого тела это свойство записывается в виде

$$dH / dt = L = 0. \quad (2.1)$$

Выражение (2.1) показывает, что производная от вектора кинетического момента, взятого относительно некоторой точки, равна вектору момента действующих на гироскоп внешних сил L , взятого относительно той же точки.

Свободный гироскоп, находящийся на поверхности Земли, вследствие ее суточного вращения будет видимым образом изменять положение своей главной оси относительно предметов, связанных с Землей.

Второе свойство - под воздействием постоянного или медленно меняющегося момента внешних сил L свободный гироскоп совершает прецессионное движение.

При воздействии на гироскоп силы F (рис. 2.2) момент внешней силы L_y будет направлен по оси OY . Главная ось гироскопа начнет прецессионное движение в плоскости YOX в направлении момента L_y с линейной скоростью

$$u = OBr = Hr, \quad (2.2)$$

где r - угловая скорость вращения оси OX в инерциальном пространстве вокруг оси OZ .

Известно, что производная по времени от вектора равна скорости конца вектора:

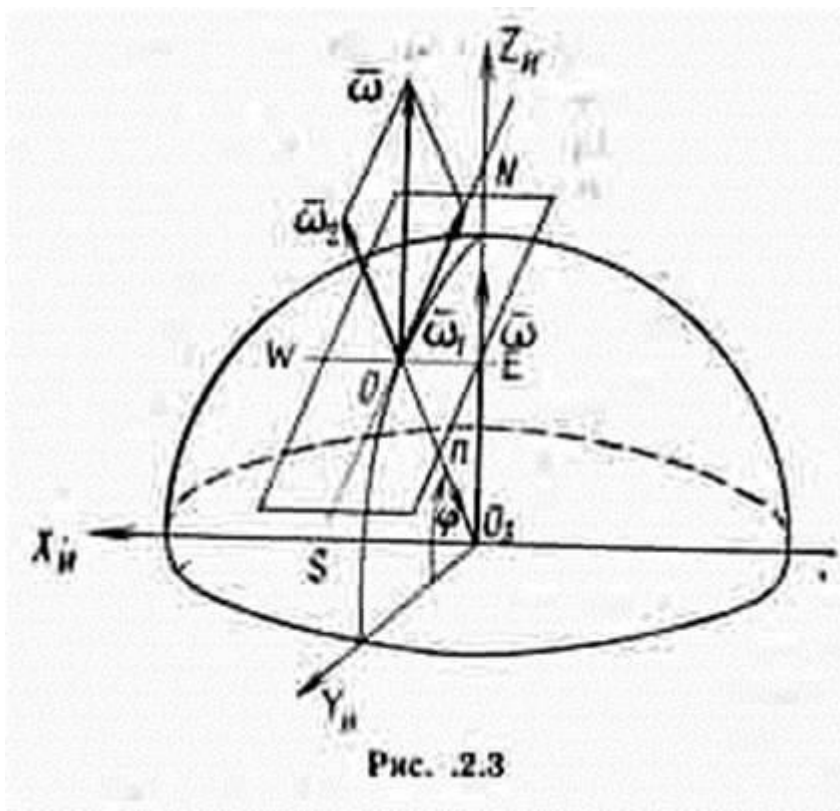
$$u = L_y. \quad (2.3)$$

Следовательно, скорость u конца вектора H свободного гироскопа относительно точки подвеса геометрически равна моменту внешних сил L_y , взятому относительно той же точки O .

С учетом (2.2) и (2.3) можно записать:

$$L_y = Hr; \quad r = L_y / H. \quad (2.4)$$

Равенства (2.4) выражают закон прецессии.



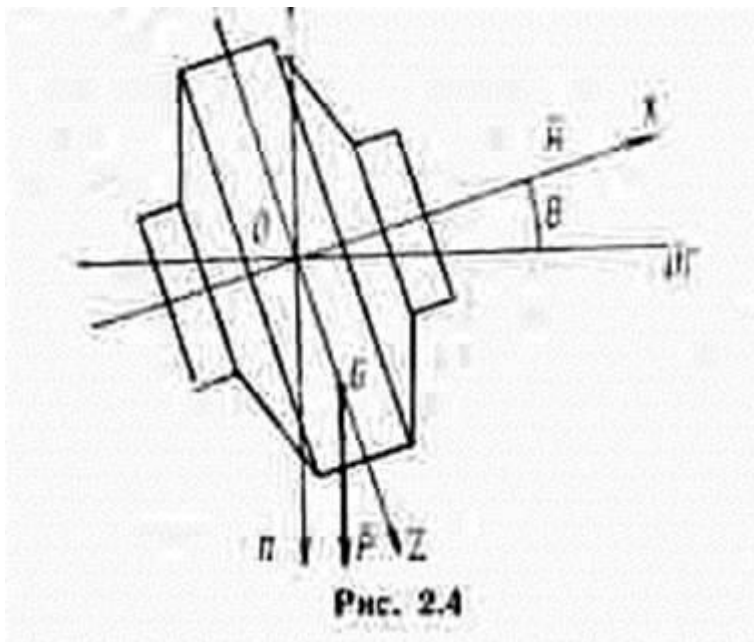
При исследовании поведения гироскопических устройств представляет интерес рассмотрение их движения не только в инерциальном пространстве, но главным образом по отношению к системам координат, определенным образом связанных с Землей. Одной из таких систем является горизонтальная система координат (ГСК) с географической ориентацией осей (рис. 2.3), имеющая начало в точке O подвеса гироскопа. Предположим, что Земля имеет форму шара радиусом R . Обозначим данную систему координат $ONEn$, ее ось ON направим вдоль истинного меридиана к северу, ось OE - вдоль параллели к востоку и On - вдоль истинной вертикали вниз (в надир). На рис. 2.3 обозначены также $O_3X_nY_nZ_n$ - инерциальная система координат, j - географическая широта точки O .

Из теории гироскопических устройств известно, что угловая скорость вращения Земли в инерциальном пространстве равна угловой скорости w ее суточного вращения вокруг своей оси.

Перенесем вектор w из центра Земли O_3 в точку O и разложим на составляющие по осям ON и On . Из рис. 2.3 видно, что

$$w_1 = w \cos j; \quad w_2 = w \sin j. \quad (2.5)$$

С угловой скоростью w_1 в точке O вращается в инерциальном пространстве вокруг оси ON плоскость истинного горизонта так, что восточная ее часть опускается, а западная - поднимается. С угловой скоростью w_2 в точке O вращается в инерциальном пространстве вокруг оси On плоскость истинного меридиана так, что северная ее часть (в северном полушарии) перемещается к западу, а южная - к востоку.



Из выражения (2.5) видно, что на экваторе $w_1 = w$ и $w_2 = 0$, а на полюсе $w_1 = 0$ и $w_2 = w$.

В гироскопе вращение Земли создает направляющий момент, удерживающий главную ось гироскопа в плоскости географического меридиана. Простейший способ создания направляющего (маятникового) момента заключается в смещении центра масс гироскопа (не ротора) вдоль его оси OZ (рис. 2.4). Если центр масс гироскопа смещен в точку G , то при отклонении главной оси гироскопа OX от плоскости истинного горизонта (IH) на угол q за счет гравитационного поля Земли создается маятниковый момент L_y , направленный за плоскость чертежа:

$$L_y = -POG \sin q \quad (2.6)$$

где P - сила тяжести гироскопа.

Из (2.6) видно, что при увеличении угла q возрастает момент L_y .

В момент пересечения главной осью OX плоскости горизонта (точка 3 на экране Э) $q = 0$, $L_y = 0$, $V_r = 0$, $V_B = V_{B3}$.

Пройдя точку 3, главная ось гироскопа будет опускаться под плоскость горизонта, что приведет к образованию отрицательного угла $-q$. С образованием $-q$ возникает маятниковый момент L_{y2} , направленный к востоку. До пересечения главной осью гироскопа плоскости меридиана (точка 4 на экране Э) продолжается увеличение угла $-q$, момента L_{y2} и линейной скорости прецессии гироскопа к меридиану V_r .

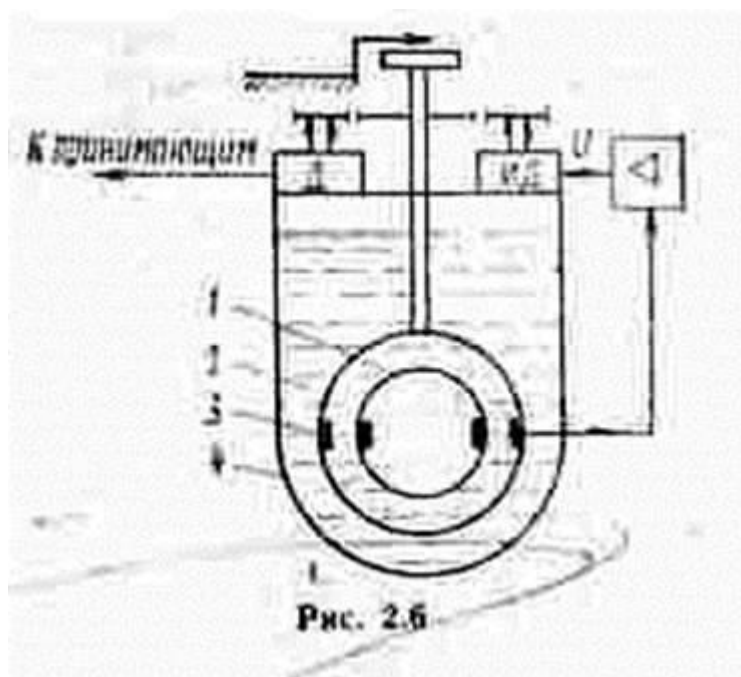
В момент пересечения главной осью гироскопа плоскости меридиана (точка 4 на экране Э) угол $-q = -q_{\max}$, момент $L_{y2} = L_{y2 \max}$, скорость прецессии к меридиану максимальна, $V_r = V_{r \max}$.

Далее главная ось гироскопа переходит в восточную часть. Вследствие опускания восточной части плоскости горизонта происходит уменьшение угла $-q$ по абсолютной величине, момента L_{y2} и линейной скорости прецессии V_r . В дальнейшем главная ось OX подойдет к своему первоначальному положению (точка 1 на экране Э).

Таким образом, главная ось гироскопа будет совершать незатухающие колебания относительно плоскости истинного меридиана. Для того чтобы колебания сделать

затухающими, применяют специальный масляный успокоитель (демпфер). Он представляет собой систему двух сообщающихся сосудов, частично заполненных маслом. Сосуды располагаются параллельно оси OX , один из них является северным (N), другой - южным (S). Параметры успокоителя выбирают таким образом, чтобы период колебаний уровня масла в нем был равен периоду колебаний главной оси гироскопа по углу q и отставал по фазе на 90° .

В точке 1 (рис. 2.5) за счет того, что в северном сосуде успокоителя уровень масла выше, чем в южном, успокоителем создается дополнительный демпфирующий момент L_{y1}^{don} , направленный к меридиану. В точке 2 уровень масла в обоих сосудах одинаков, $L_y^{don} = 0$. В точке 3 в южном сосуде уровень масла выше, чем в северном. За счет этого создается дополнительный момент L_{y3}^{don} , направленный к меридиану. В точке 4 уровни масла в успокоителе равны нулю и $L_y^{don} = 0$. Под влиянием дополнительных (демпирующих) моментов колебания главной оси гироскопа становятся затухающими. На экране Э они показаны штриховой линией.



В существующих типах гирокомпасов применяется пара гироскопов. Они расположены внутри герметичной гиросферы 1 (рис. 2.6). Гиросфера погружена в поддерживающую жидкость 2. Вокруг гиросферы располагается негерметичная следящая сфера 3. Следящая сфера с помощью специального стержня подвешивается к крышке резервуара 4, наполненного поддерживающей жидкостью.

При повороте корабля следящая сфера, разворачиваясь вместе с ним, рассогласуется с гиросферой, которая удерживает направление меридиана. Сигнал рассогласования U через усилитель подается на исполнительный двигатель ИД, который разворачивает следящую сферу до согласованного с гиросферой положения. Одновременно с этим разворачивается датчик курса $Д$, с которого курс поступает на принимающие.

На работу чувствительного элемента оказывают влияние изменения курса, скорости корабля и качка, вызывающие погрешности в показаниях гирокомпаса. Эти погрешности периодически определяются и компенсируются вводом поправок в показания гирокомпасов.

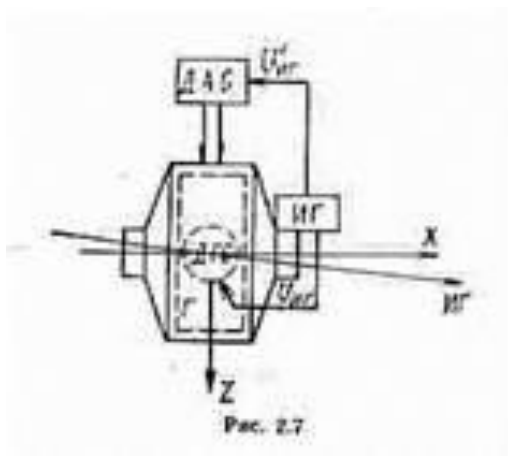
При плавании в высоких широтах угловая скорость вращения плоскости горизонта $w_1 = w \cdot \cos j$ становится малой, на полюсе $w_1 = 0$. Вследствие этого угол q (рис. 2.5) достигает

незначительных величин и гирокомпас в высоких широтах работает неустойчиво. Поэтому при плавании в этих широтах в качестве основных курсоуказателей используют гироазимуты. В отличие от гирокомпасов и магнитных компасов гироазимут не "приходит" в меридиан, но, будучи "приведенным" в него, сохраняет это положение.

2.2.2 Гирокурсоуказатели

Гирокурсоуказатель (ГКУ) - гироскопическое навигационное устройство, предназначенное для определения курса корабля.

Чувствительным элементом ГКУ является трехстепенной поплавковый гироблок (ТПГ), основной частью которого является герметичный сферический поплавок. Внутри поплавка расположен гироскоп. Пространство между поплавком и корпусом ТПГ заполнено специальной жидкостью. Поплавок связан с корпусом ТПГ двумя парами взаимно перпендикулярных (горизонтальных и вертикальных) торсионов. Торсионы центрируют поплавок относительно корпуса ТПГ и выполняют функцию датчиков моментов.



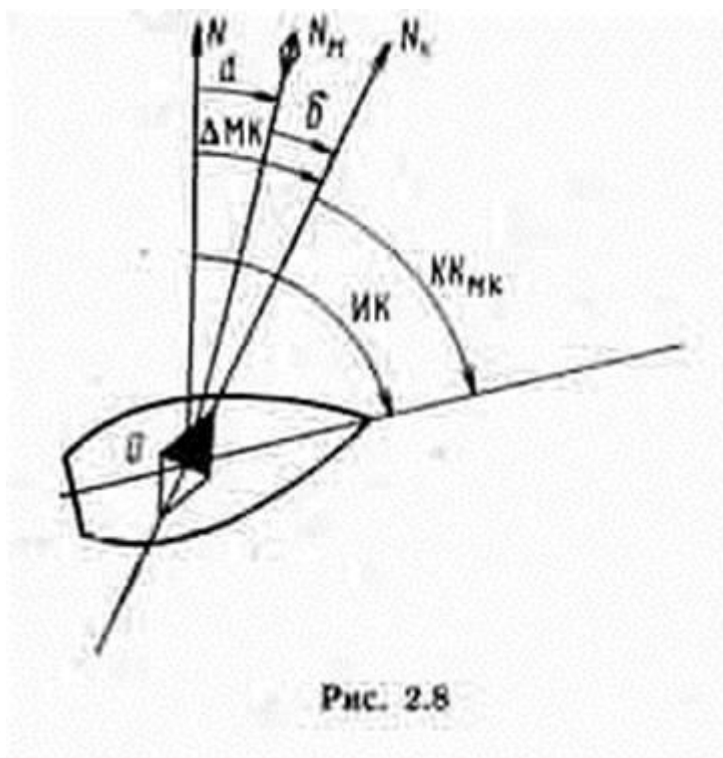
В отличие от гирокомпаса в ГКУ центр масс гироскопа не смещается. Формирование маятникового момента происходит на основании сигнала $U_{ИГ}$ об отклонении главной оси гироскопа X относительно плоскости истинного горизонта $ИГ$ (рис. 2.7). Сигнал $U_{ИГ}$ снимается с индикатора истинного горизонта $ИГ$. Далее сигнал $U_{ИГ}$ подается на двигатель горизонтальной стабилизации $ДГС$, который разворачивает корпус $ТПГ$ относительно гироскопа $Г$ вокруг оси Y (на рисунке не показана). Это приводит к закрутке горизонтальных торсионов и созданию маятникового момента L_y . Индикатор горизонта используется и для создания демпфирующего момента L_z . Для этого после предварительного масштабирования и усиления сигнал $U'_{ИГ}$ подается на двигатель азимутальной стабилизации $ДАС$, который разворачивает корпус $ТПГ$ относительно гироскопа $Г$ вокруг оси Z и закручивает, таким образом, вертикальные торсионы.

Следовательно, выработка маятникового L_y и демпфирующего L_z моментов происходит не непосредственно самим гироскопическим элементом, а косвенно, с использованием информации от индикатора горизонта. Поэтому ГКУ относят к гирокомпасам с косвенным управлением.

2.2.3 Магнитные компасы

Магнитным компасом называют навигационное устройство с магнитным чувствительным элементом, предназначенное для определения курса корабля.

Принцип действия магнитного компаса основан на использовании магнитного поля Земли. Известно, что Земля представляет собой магнит, северный и южный полюса которого не совпадают с соответствующими географическими полюсами. Вследствие этого магнитный меридиан ON_M составляет с истинным меридианом ON в заданной точке угол, называемый магнитным склонением d (рис. 2.8). Намагниченная и свободно вращающаяся вокруг вертикальной оси стрелка, внесенная в магнитное поле Земли, устанавливается по направлению магнитного меридиана. Однако влияние магнитного поля корабля приводит к отклонению стрелки от магнитного меридиана на угол d , называемый девиацией магнитного компаса.



Для расчета истинного курса $ИК$ по магнитному компасу необходимо учитывать склонение d и девиацию d :

$$ИК = КК_{МК} + d + d, \quad (2.7)$$

где $КК_{МК}$ - величина курса, снимаемого с катушки магнитного компаса.

При вычислениях по (2.7) величины d и d , направленные к востоку, имеют знак "плюс". Если d и d направлены к западу, их знак меняется на противоположный.

Поправка магнитного компаса может определяться по пеленгам отдаленного ориентира или по сличению с другим компасом как сумма магнитного склонения и девиации по формуле

$$DMK = d + d.$$

Магнитное склонение, указанное на карте (в районе счислимого места), необходимо привести к году плавания, для чего вычисляют изменение магнитного склонения:

$$Dd = Dd_I(N - N_K),$$

где Dd_I - изменение магнитного склонения в течение одного года (указывается в заголовке карты); N - год плавания; N_K - год, к которому приведено склонение на карте (указывается в

заголовке карты). Далее рассчитывают магнитное склонение d , приведенное к году плавания:

$$d = |d_K| \pm Dd, \quad (2.8)$$

где $|d_K|$ - абсолютная величина магнитного склонения, указанного на карте.

В формуле (2.8) знак "плюс" используют при увеличении $|d_K|$ и знак "минус" - при уменьшении.

Девияция d выбирается из таблицы девиации в зависимости от компасного курса.

В настоящее время магнитные компасы используются, как правило, в качестве резервных курсоуказателей.

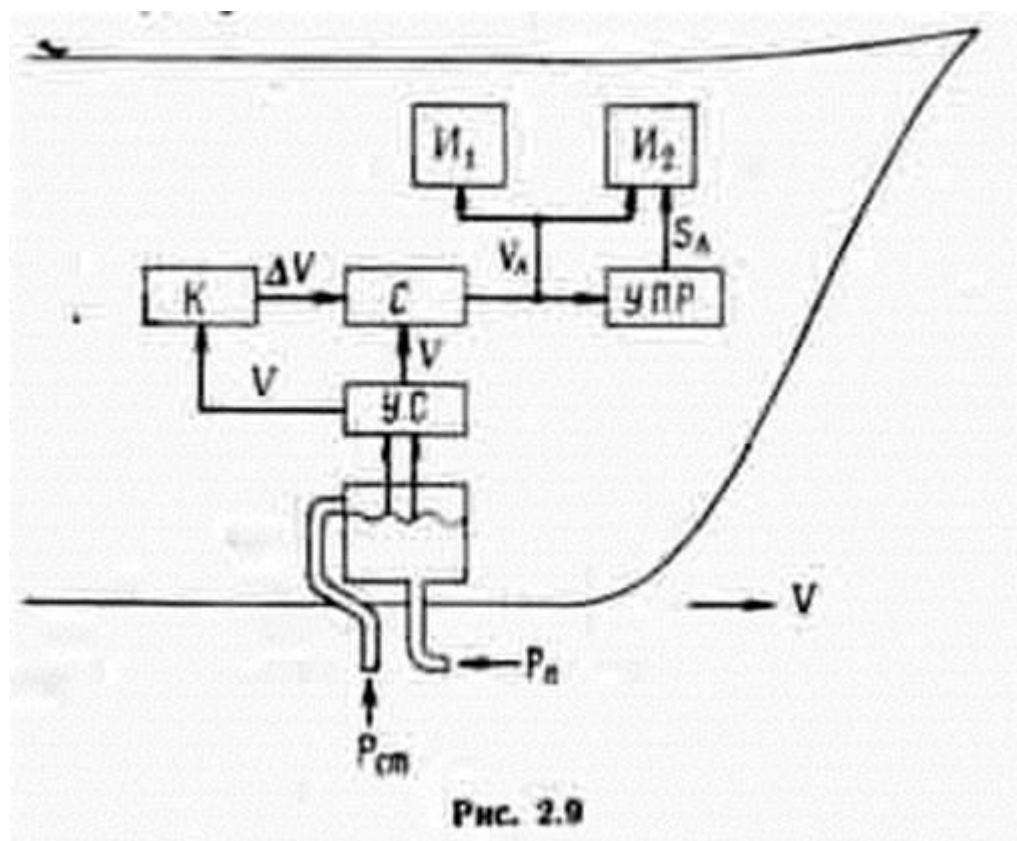
2.3 Лаги

Навигационное устройство, предназначенное для измерения скорости и выработки пройденного кораблем расстояния, называется лагом. В настоящее время получили широкое применение относительные и абсолютные лаги.

К относительным лагам относятся лаги, измеряющие скорость движения корабля относительно воды. Абсолютный лаг производит измерение скорости относительно дна моря.

2.3.1 Гидродинамические лаги

Гидродинамическим лагом называют относительный лаг, определяющий скорость корабля в зависимости от динамического давления воды, обтекающей корабль при его движении.



Приемное устройство гидродинамического лага состоит из двух трубок (рис. 2.9), приемные отверстия которых вынесены за пределы пограничного слоя воды, обтекающей корпус корабля. Приемное устройство одной трубки направлено к носу корабля. При движении корабля набегающий поток воды поступает в нее под давлением P_{Π} . Полное давление воды P_{Π} состоит из статического давления воды на уровне входного отверстия трубки $P_{СТ}$ и гидродинамического давления $P_{ДИН}$, пропорционального скорости движения корабля:

$$P_{\Pi} = P_{СТ} + P_{ДИН}.$$

Во вторую трубку вода будет поступать под давлением $P_{СТ}$. По обеим трубкам вода поступает в механический дифференциальный манометр, который разделен мембраной на две полости. Прогиб мембраны пропорционален разности давлений, равной гидродинамическому давлению:

$$P_{ДИН} = P_{\Pi} - P_{СТ} = \rho V^2 / 2, \quad (2.9)$$

где ρ - плотность воды.

Из (2.9) видно, что прогиб мембраны пропорционален скорости движения корабля:

$$V = \sqrt{2P_{ДИН} / \rho}. \quad (2.10)$$

Механическое усилие мембраны через шток подается в узел скорости УС, где реализуется зависимость (2.10). Полученное значение скорости V подается на корректор K , в котором вырабатывается поправка DV . Поправка DV складывается в сумматоре C с величиной V , и суммарное значение относительной скорости V_{Π} поступает на индикаторы скорости $И_1, И_2$ и в узел пройденного расстояния УПР. В УПР решается задача вычисления пройденного кораблем расстояния за время t :

$$S_{\Pi} = \int_0^t V_{\Pi} dt$$

Полученное значение поступает на индикатор скорости и пройденного расстояния $И_2$.

Расстояние, пройденное кораблем, определяется как разность между двумя последовательными отсчетами лага $ол_1$ и $ол_2$, снятыми с индикатора $И_2$:

$$рол = ол_2 - ол_1.$$

Из-за погрешности в показаниях лага разность отсчетов лага ($рол$) не соответствует истинному расстоянию, проходимому кораблем относительно воды. Поэтому расстояние, измеренное относительным лагом, необходимо исправлять поправкой лага. Поправку лага выражают в процентах по отношению к пройденному расстоянию:

$$\left. \begin{aligned} \Delta л &= [(S_{\Pi} - рол) / рол] 100, \\ \Delta л &= [(V_{\Pi} - V_{\Pi}) / V_{\Pi}] 100, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

где $S_{И}$ - истинное расстояние, проходимое кораблем относительно воды (мили); $V_{И}$ - истинная скорость корабля относительно воды; $V_{Л}$ - скорость корабля по показаниям лага (уз).

Таким образом, из выражения (2.11) получим:

$$\left. \begin{aligned} S_{\kappa} &= \rho_{ол} + (\Delta \lambda / 100) \rho_{ол}; \\ S_{\kappa} &= \rho_{ол} [1 + (\Delta \lambda / 100)] \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Для исправления показаний относительных лагов целесообразно использовать коэффициент лага ($\kappa_{Л}$):

$$\kappa_{Л} = 1 + (\Delta \lambda / 100). \quad (2.13)$$

Подставив (2.13) в выражение (2.12), получим

$$S_{И} = \rho_{ол} * \kappa_{Л}. \quad (2.14)$$

2.3.2 Индукционные лаги

Индукционным лагом называют относительный лаг, определяющий скорость корабля в зависимости от электродвижущей силы (ЭДС), индуцируемой в потоке воды, обтекающем корабль при его движении.

В соответствии с законом электромагнитной индукции при движении проводника длиной L со скоростью V в постоянном магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции B в проводнике наводится ЭДС, равная

$$E = BVL.$$

Для реализации индукционного метода измерения скорости в днище корабля устанавливается приемное устройство 1-индукционный первичный преобразователь скорости (ИППС), содержащий электромагнит 2 и измерительные электроды 3 (рис. 2.10). ИППС жестко связан с корпусом корабля. В объеме воды, окружающей ИППС, можно условно выделить некоторый токопроводящий контур l , замыкающийся через измерительные электроды 3 и соединительные проводники 4 на измерительную схему 5.

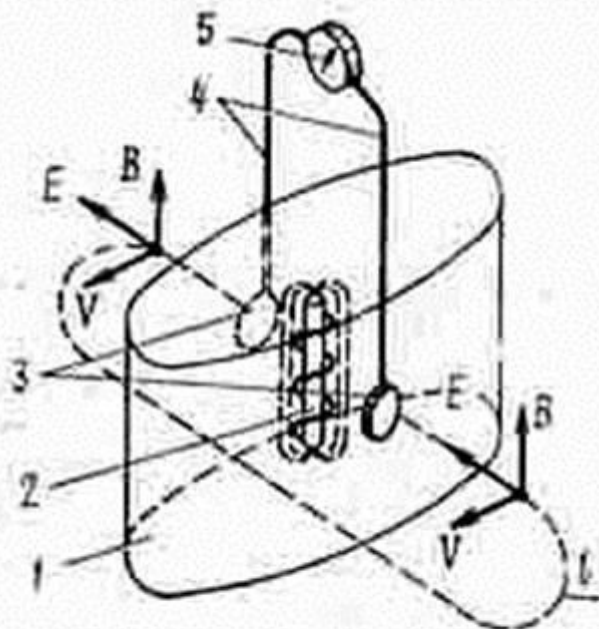


Рис. 2.10

Следовательно, измерив напряжение, возникающее на измерительных электродах за счет наводимой в воде ЭДС, можно определить скорость перемещения магнитного поля относительно воды, то есть определить относительную скорость корабля.

Полученное значение скорости подается на индикаторы и на интегрирующий привод выработки пройденного расстояния.

2.3.3 Абсолютные лаги

В настоящее время из этой группы лагов получили широкое распространение абсолютные гидроакустические доплеровские лаги (АГДЛ), которые измеряют скорость корабля относительно дна. Принцип действия АГДЛ основан на использовании эффекта Доплера и законов распространения акустических волн в воде. Реализация указанных принципов работы АГДЛ производится следующим образом (рис. 2.11).

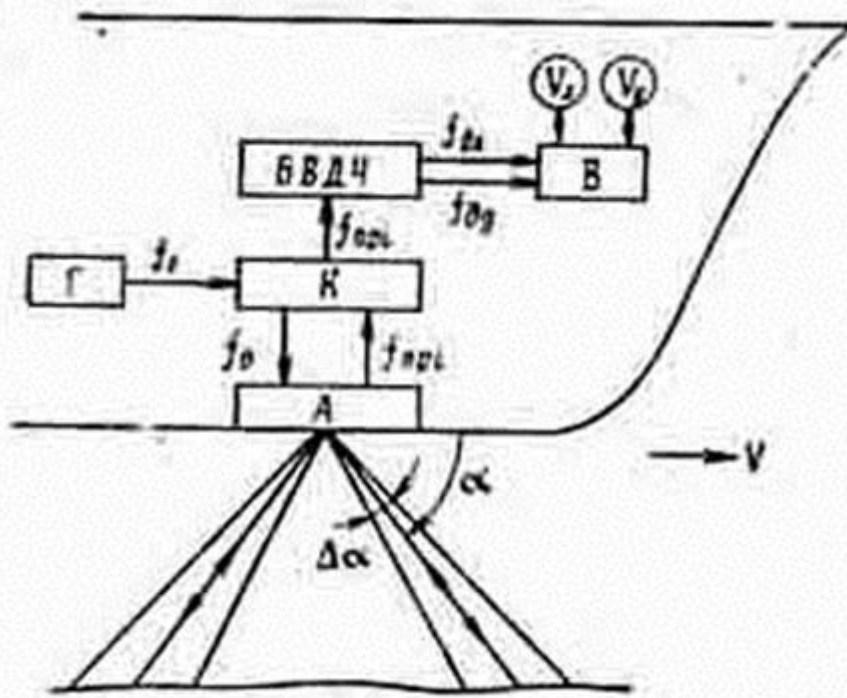


Рис. 2.11

В днище корабля, движущегося со скоростью V , установлена приемно-излучающая антенна A . В режиме излучения коммутатор K подключает антенну к генератору G , и в водную среду излучается узкий пучок звуковых лучей частотой f_0 . Луч направлен в сторону морского дна под углом $\alpha = 45 - 60^\circ$, раствор диаграммы направленности $\Delta\alpha = 2 - 3^\circ$. Для обеспечения чувствительности и точности измерений применяется четырехлучевая антенна с диаметрально-траверсной ориентацией осей. Таким образом, происходит излучение звуковых сигналов в сторону носа, кормы, левого и правого бортов корабля. Это позволяет измерить продольную V_x и поперечную V_y составляющие скорости движения корабля.

Морское дно отражает звуковые сигналы, которые воспринимаются антенной A и в режиме приема через коммутатор K поступают в блок выделения доплеровских частот (БВДЧ). Вследствие эффекта Доплера частота принятых i -й антенной лага отраженных сигналов f_{pri} , будет отлична от частоты излучения f_0 и равна

$$f_{pri} = f_0 (c + V \cos \alpha) / (c - V \cos \alpha), \quad (2.15)$$

где c - скорость звука в воде.

В БВДЧ с использованием (2.15) производится выделение доплеровского сдвига частоты по осям ориентации лучей:

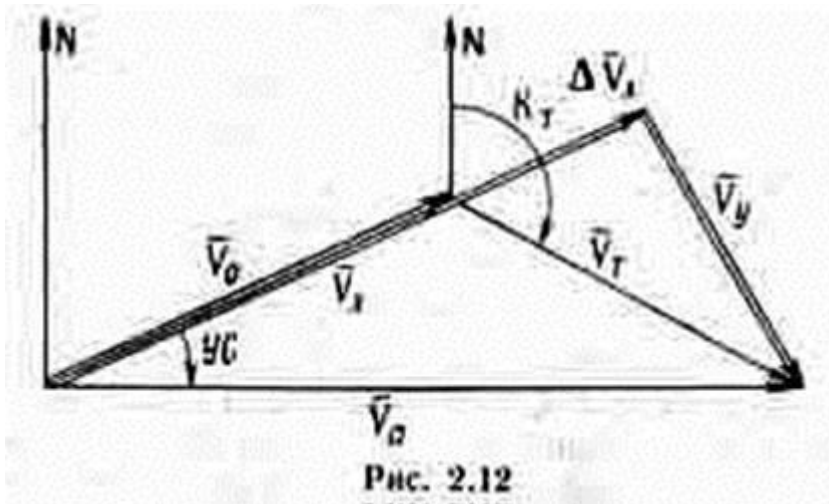
$$\left. \begin{aligned} f_{dx} &= f_{pri} - f_{pri} = f_0 (4V_x \cos \alpha) / c, \\ f_{dy} &= f_{pri} - f_{pri} = f_0 (4V_y \cos \alpha) / c, \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

где f_{dx}, f_{dy} - доплеровский сдвиг частот по осям X и Y соответственно; $f_{пр\ n}, f_{пр\ к}, f_{пр\ п}, f_{пр\ л}$ - частоты сигналов, принимаемых антеннами, ориентированными соответственно в сторону носа, кормы, правого и левого бортов корабля.

Из (2.16) видно, что составляющие скорости движения корабля будут равны

$$\left. \begin{aligned} V_x &= f_{axc} / 4 f_0 \cos \alpha \\ V_y &= f_{ayc} / 4 f_0 \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Полученные по (2.16) значения f_{dx}, f_{dy} из БВДЧ транслируются в вычислитель В, где по (2.17) рассчитываются значения V_x и V_y .



С использованием V_x и V_y можно определить вектор скорости течения V_T , угол сноса корабля (YC) и вектор абсолютной скорости движения корабля относительно дна V_a (рис. 2.12). Для этого из вектора V_x необходимо вычесть вектор относительной скорости V_0 , измеренный с помощью компаса и относительного лага. Полученная разность DV_x векторно складывается с составляющей V_y . Эта векторная сумма будет равна вектору скорости течения:

$$V_T = DV_x + V_y.$$

Вектор V_a равен

$$V_a = V_0 + V_T.$$

Угол между вектором V_0 и вектором V_a называется углом сноса.

2.4 Автосчислители и автопрокладчики

Автосчислителем называется навигационный прибор, предназначенный для вычисления текущих (счислимых) координат корабля. Автосчислитель осуществляет аналитическое счисление координат места корабля.

Автопрокладчик предназначен для ведения прокладки на навигационной морской карте или навигационном морском плане. Автопрокладчики используются совместно с автосчислителями.

2.5 Инерциальные навигационные системы

Инерциальная навигационная система (ИНС) предназначена для определения координат и параметров движения корабля. Она основана на использовании инерционных свойств

движущихся материальных тел. Чувствительными элементами ИНС являются акселерометры и гироскопы. Акселерометры измеряют кажущиеся ускорения относительно инерциальной системы координат $O_3X_иY_иZ_и$ (см. рис. 2.3). Гироскопы необходимы для выработки базовых (отсчетных) плоскостей и направлений. Нормальная работа ИНС достигается дополнительным использованием внешней информации (как правило, скорости движения корабля). ИНС позволяет автономно определить широту $j_и$, скорость $V_и$, курс $K_и$, углы крена q и дифферента $у$. Для получения долготы $l_и$ в ИНС необходимо вводить начальное значение долготы $l_и(0)$.

В зависимости от способов построения истинной вертикали (ИВ) места, оси мира P_NP_S и выработки основных навигационных параметров различают три типа ИНС: геометрические, полуаналитические и аналитические. В качестве примера рассмотрим полуаналитическую ИНС.

В ИНС полуаналитического типа горизонтная система координат $ONEи$ моделируется с помощью платформы, на которой установлены акселерометры и гироскопы. Каждый гироскоп по сигналам акселерометра стабилизирует платформу относительно одной горизонтальной оси: OX или OY . Один или оба гироскопа стабилизируют ее относительно вертикальной оси OZ . Построение оси мира и вычисление основных навигационных параметров производится аналитически в ЦВМ. Принцип действия полуаналитической ИНС поясним с помощью рис. 2.13.

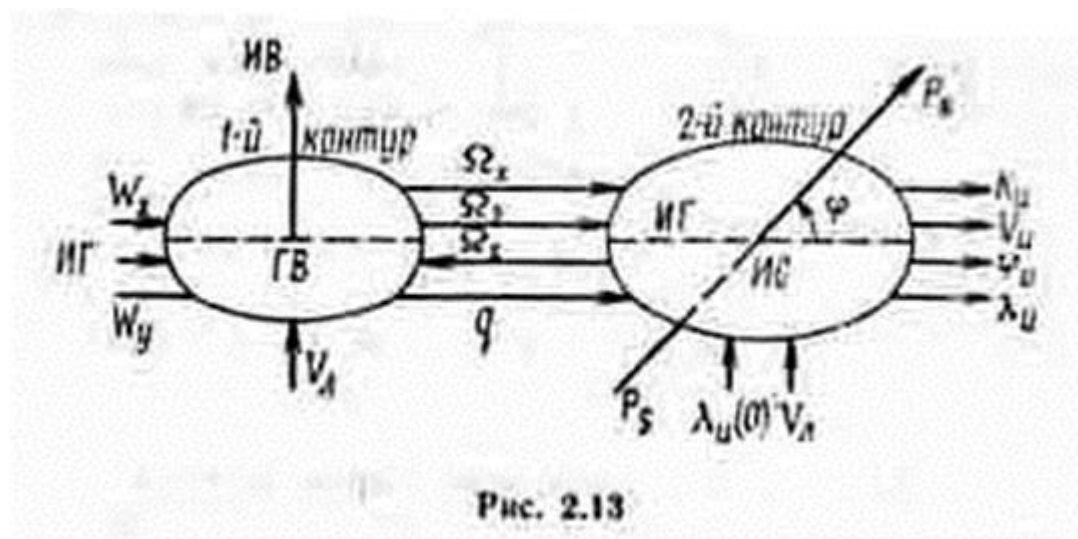


Рис. 2.13

В первом контуре ИНС по ускорениям W_x , W_y , измеренным акселерометрами, и скорости от лага V_d вырабатываются абсолютные угловые скорости вращения истинной вертикали (плоскости истинного горизонта) в инерциальном пространстве W_xW_y и курсовой угол q платформы. Таким образом, на корабле физически моделируется направление истинной вертикали. Это позволяет определить углы бортовой q и килевой $у$ качки корабля.

Полученные значения W_xW_y , q используются во втором контуре ИНС для аналитического моделирования оси мира P_NP_S по специальным алгоритмам. Зная ИВ и направление оси мира (осивращения Земли), можно определить плоскость меридиана места. Угол между осью мира и плоскостью ИГ будет равен шпроте места. По такому принципу во втором контуре ИНС с использованием V_d аналитически вычисляются широта $j_и$, курс $K_и$, скорость движения $V_и$ и скорость изменения долготы $l_и$. Вычисление текущего значения долготы $l_и$ осуществляется с использованием начальной величины $l_и(0)$ по формуле

$$\lambda_H = \int_0^t \lambda_H dt + \lambda_H(0).$$

Во втором контуре ИНС производится также определение скорости вращения плоскости меридиана в инерциальном пространстве W_Z . Величина W_Z используется в первом контуре ИНС для стабилизации платформы в плоскости меридиана.

2.6. Средства визуальной коррекции

При плавании в пределах визуальной видимости береговых ориентиров для периодической корректуры координат места корабля и поправки курса используются пеленгаторные репитеры, дальномеры и секстаны.

Пеленгаторные репитеры устанавливаются на мостике корабля. С их помощью осуществляется измерение направлений на береговые ориентиры.

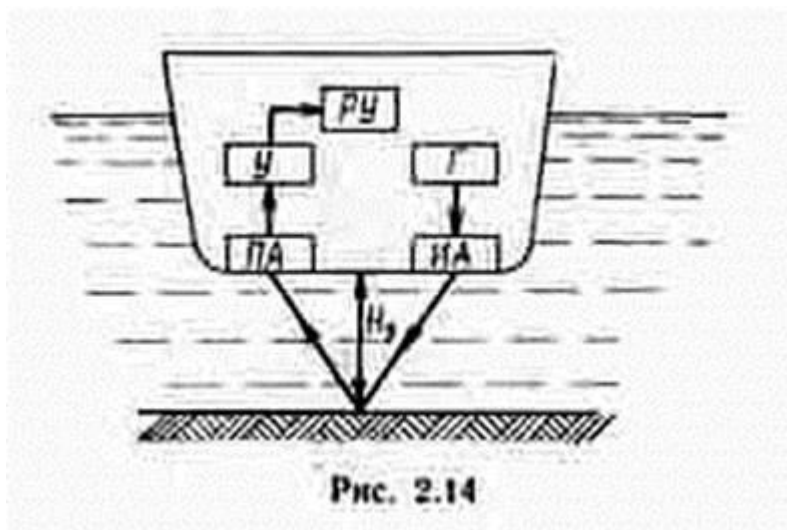
Оптические дальномеры устанавливаются на надстройке корабля. Ими измеряют дистанции до береговых ориентиров.

Ручной секстан - навигационное устройство, предназначенное для выполнения измерений высот небесных светил над видимым горизонтом, а также горизонтальных углов между ориентирами вручну.

2.7 Эхолоты

Эхолот - навигационное устройство, предназначенное для измерения глубины с помощью акустических эхо-сигналов.

Сущность акустического способа измерения глубины заключается в фиксировании промежутков времени между моментами посылки импульса и приема отраженного от грунта эхо-сигнала (рис. 2.14).



Генератор (Г), создающий электрические колебания ультразвуковой частоты, возбуждает в излучающей антенне (ИА) механические колебания той же частоты. Импульсы этих колебаний, отражаясь от грунта, приходят на принимающую антенну (ПА), где преобразуются в электрические сигналы. На усилителе (У) принятый сигнал усиливается до

величины, достаточной для срабатывания регистрирующего устройства (РУ). С использованием промежутка времени между посылкой и приемом сигналов t и скорости распространения звука в воде c в регистрирующем устройстве производится расчет глубины H , по формуле

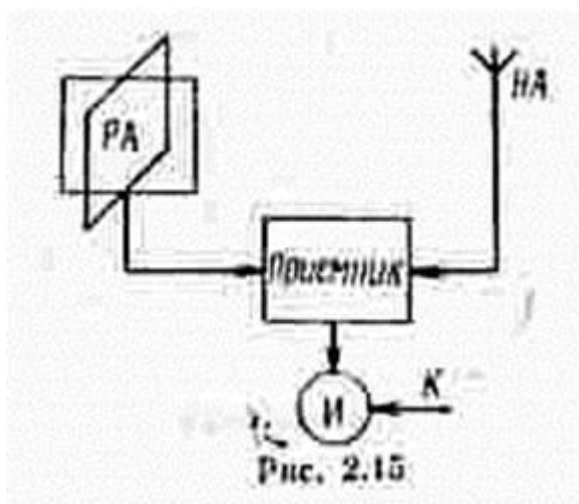
$$H = (c / 2) t.$$

Отображение глубины осуществляется с помощью проблесковых и цифровых индикаторов и самописцев.

2.8 Радиопеленгаторы

Радиопеленгатор - радиотехническое устройство, предназначенное для пеленгования объектов, излучающих радиосигналы.

Для радиопеленгования используется замкнутая рамочная антенна (РА) и ненаправленная антенна (НА) (рис. 2.15). Рамочная антенна состоит из двух взаимно перпендикулярных рамок, плоскость одной из которых совпадает с диаметральной плоскостью корабля.



Принцип работы радиопеленгатора основан на свойстве рамки выделять радиосигналы в зависимости от направления их распространения относительно плоскости рамки. Приемное и индикаторное устройства обеспечивают прием радиосигналов от береговых радиомаяков, их усиление, обработку и измерение радиокурсового угла. Для измерения радиопеленга в индикаторное устройство автоматически вводится курс от компаса.

2.9 Навигационные комплексы

Рост требований к точности и надежности выработки навигационных параметров обусловил необходимость создания навигационных комплексов (НК). В НК реализованы следующие основные принципы комплексирования:

- автоматизация обмена информацией между приборами и системами;
- информационная избыточность, предполагающая использование информации, вырабатываемой несколькими однотипными и разнотипными приборами и системами;
- структурная избыточность, предполагающая использование резервных и дублируемых приборов и систем;

- автоматизация обработки навигационной информации для получения наилучшей оценки вырабатываемых параметров;
- иерархическое построение систем.

Ядром типового НК является ИНС, состоящая из двух или трех автономных каналов выработки информации (рис. 2.16).

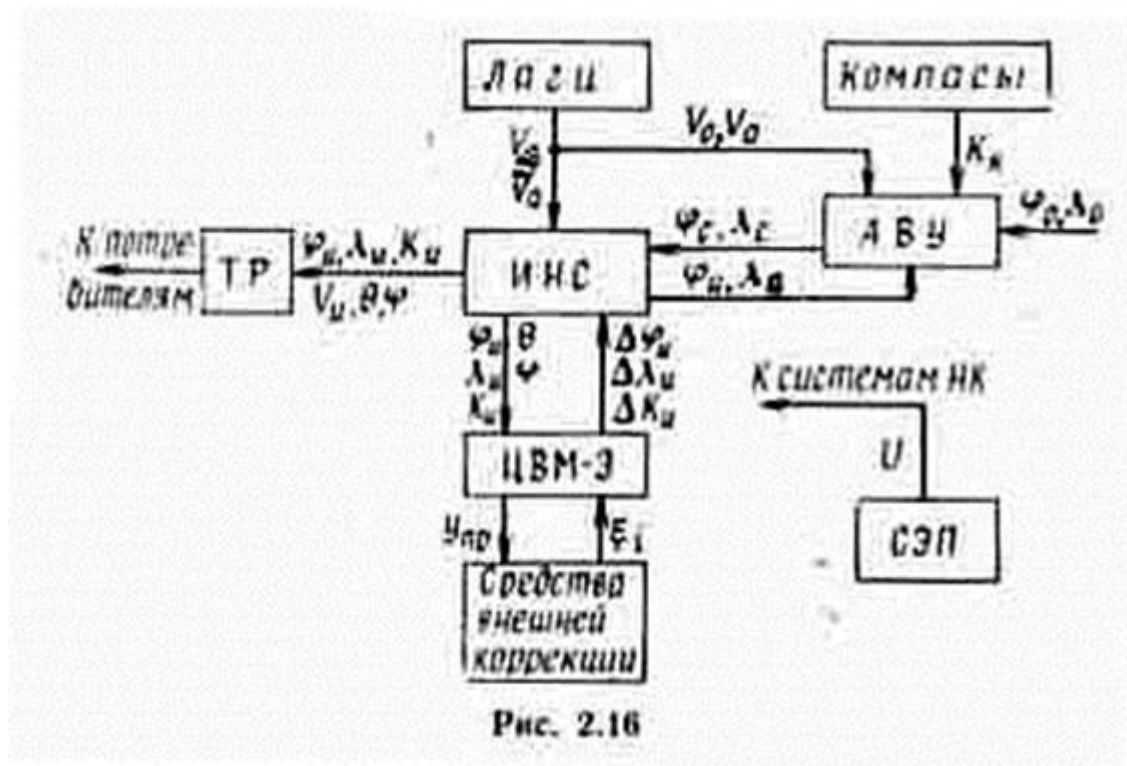


Рис. 2.16

В качестве резервного средства счисления координат места j_c, l_c используется аналоговое вычислительное устройство (АВУ). Резервным средством курсоуказания являются компасы. Определение относительной V_0 и абсолютной скорости V_a осуществляется лагами. Для эпизодической коррекции вырабатываемых параметров в НК предусмотрены средства коррекции, включающие в себя астро- и радио-оптические системы, а также приемоиндикаторы спутниковых и радионавигационных систем. Измеренные средствами коррекции параметры x_i поступают в ЦВМ эпизодического действия (ЦВМ-Э). Назначением ЦВМ-Э является управление средствами коррекции, обработка измеренных параметров, а также вычисление поправок координат D_{ji}, D_{li} и курса DK_i , выработанных ИНС. Для обеспечения правильной работы в ЦВМ-Э и средства коррекции транслируются углы бортовой q и килевой y качки корабля. Система электропитания СЭП обеспечивает НК всеми видами электрического питания U . Выработанная в НК навигационная информация передается через систему трансляции (ТР) потребителям.

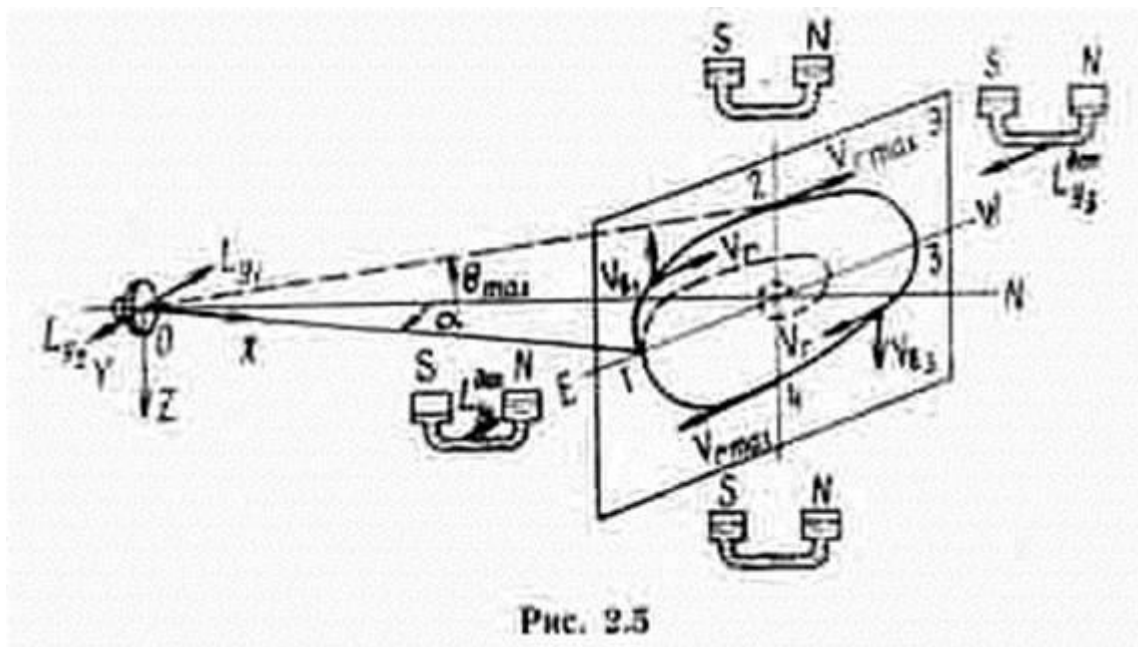


Рис. 2.5

Рассмотрим поведение свободного гироскопа со смещенным центром масс, находящегося на неподвижном относительно Земли основании на экваторе (рис. 2.5). Допустим, что в начальный момент времени главная ось гироскопа OX находится в плоскости истинного горизонта и отклонена от истинного меридиана к востоку на угол α (точка 1 на экране Э). Вследствие опускания восточной части плоскости горизонта главная ось гироскопа начнет видимым образом подниматься с линейной скоростью V_{Bl} . Это приведет к образованию и увеличению угла q . За счет смещения центра масс гироскопа с появлением угла q возникает маятниковый момент L_y , направленный к западу. Главная ось гироскопа начнет прецессировать к плоскости меридиана. До тех пор, пока ось OX не пересечет плоскость меридиана, угол q продолжает увеличиваться. Это приводит к дальнейшему увеличению момента L_y и горизонтальной скорости прецессии V_r . Главная ось гироскопа оставит на экране Э след от точки 1 до точки 2. В момент пересечения плоскости меридиана $q = q_{max}$, $L_{y1} = L_{y1max}$ и горизонтальная скорость прецессии максимальна, $V_r = V_{rmax}$. Главная ось гироскопа со скоростью V_{rmax} пересекает плоскость меридиана и переходит в западную часть. Вследствие подъема западной части плоскости горизонта ось OX гироскопа начнет видимым образом опускаться. Это приведет к уменьшению угла q , момента L_y и горизонтальной скорости прецессии V_r .

Лекция 4

4.1. Общие положения и основные определения

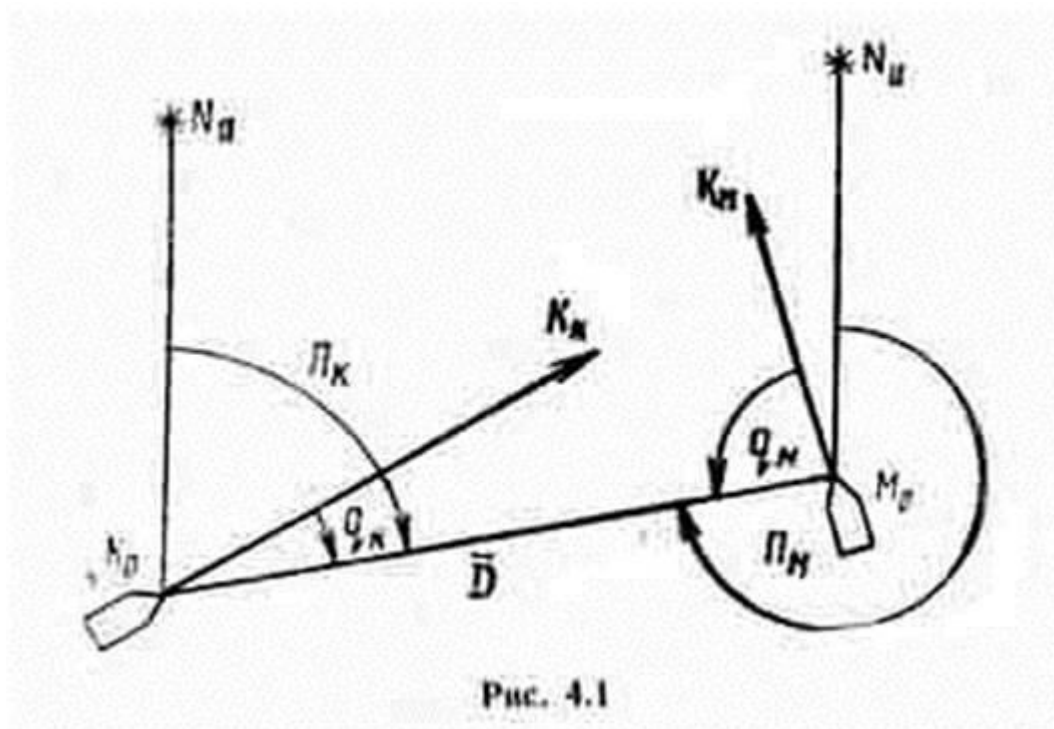
Содержанием дисциплины "Тактическое маневрирование" является изучение относительного перемещения маневрирующих кораблей для занятия выгодного положения относительно объекта маневра.

Из двух маневрирующих кораблей объектом маневра принято считать тот из них, относительно которого определяются последующие положения другого корабля. Объект маневра обозначается буквой K .

Корабль, положение которого определяется либо изменяется относительно объекта маневра, называется маневрирующим и обозначается буквой M .

Знание взаимного положения маневрирующих кораблей на любой момент времени позволяет правильно оценить обстановку, осуществить обоснованное, рассчитанное маневрирование при применении оружия или уклонении от встречи с противником, рационально выполнить маневрирование при совместном плавании, обеспечить безопасное расхождение и т. д.

Маневрирование корабля относительно неподвижного объекта маневра называется односторонним, а относительно движущегося объекта маневра - двусторонним. Если взаимосвязанное маневрирование осуществляют три корабля и более, такое маневрирование называется многосторонним.



Маневрирование всегда направлено на изменение или сохранение относительного расположения маневрирующих кораблей. Положение маневрирующего корабля M_0 относительно объекта маневра K_0 в полярной системе координат определяется вектором D (рис. 4.1), начало которого совпадает с точкой K_0 , а конец - с точкой M_0 (при рассмотрении вопросов маневрирования кораблей ограниченный район земного геоида, на котором происходит маневрирование кораблей, допустимо принимать за плоскость, а корабли считать точечными объектами). Точка M радиуса-вектора D называется позицией маневрирующего корабля. Направление и длину вектора D называют элементами позиции маневрирующего корабля. Направление вектора D относительно меридиана точки K есть не что иное, как пеленг Π на маневрирующий корабль, а длина вектора D - расстояние между кораблями M и K . Нередко направление вектора D определяется относительно диаметральной плоскости объекта маневра, то есть его курсовым углом q_k .

Таким образом, к элементам позиции маневрирующего корабля относятся: пеленг на маневрирующий корабль Π или курсовой угол q_k и дистанция D . Так как при маневрировании используются только истинные пеленги и курсы, они обозначаются Π , K , а не $\Pi\Pi$, ΠK , как в навигации.

Основными методами, применяемыми для изучения закономерностей, свойственных изменению элементов позиции маневрирующего корабля в ходе маневра, а также при практическом решении задач маневрирования, являются:

- метод относительного движения;
- метод, основанный на использовании основных элементов маневрирования.

4.2 Метод относительного движения

При двустороннем маневрировании установление законов изменения элементов позиции затруднено вследствие одновременного перемещения маневрирующих кораблей. Поэтому в тактическом маневрировании применяют метод относительного движения. Метод относительного движения заключается в замене двустороннего маневрирования как бы односторонним, при котором движение маневрирующего корабля рассматривается относительно условно неподвижного объекта маневра.

Относительным движением называется движение тела по отношению к подвижной системе координат. Движение самой подвижной системы координат относительно неподвижной системы координат называется переносным, а движение тела относительно системы координат, условно принятой за неподвижную, называется абсолютным движением.

Абсолютное, переносное и относительное движение связаны между собой геометрическим соотношением

$$V_{\text{абс}} = V_{\text{отн}} + V_{\text{пер.}} \quad (4.1)$$

При двустороннем маневрировании за начало подвижной системы координат принимается объект маневра. Тогда его собственное движение по отношению к поверхности Земли будет переносным, движение маневрирующего корабля по отношению к поверхности Земли будет абсолютным, а по отношению к объекту маневра - относительным.

Для дальнейших рассуждений введем следующие обозначения:

M, K_M, V_M, S_M, q_M - соответственно позиция, курс, скорость, перемещение, курсовой угол маневрирующего корабля в абсолютном движении;

M', K_r, V_r, S_r, q_r - те же элементы в относительном движении;

K, K_k, V_k, S_k, q_k - позиция, курс, скорость, перемещение, курсовой угол объекта маневра;

Π, D, t, T - соответственно истинный пеленг, дистанция, промежуток времени, момент по часам.

С учетом принятых обозначений формула (4.1) будет иметь вид:

$$V_M = V_k + V_r. \quad (4.2)$$

Так как перемещения кораблей пропорциональны скоростям, можно записать:

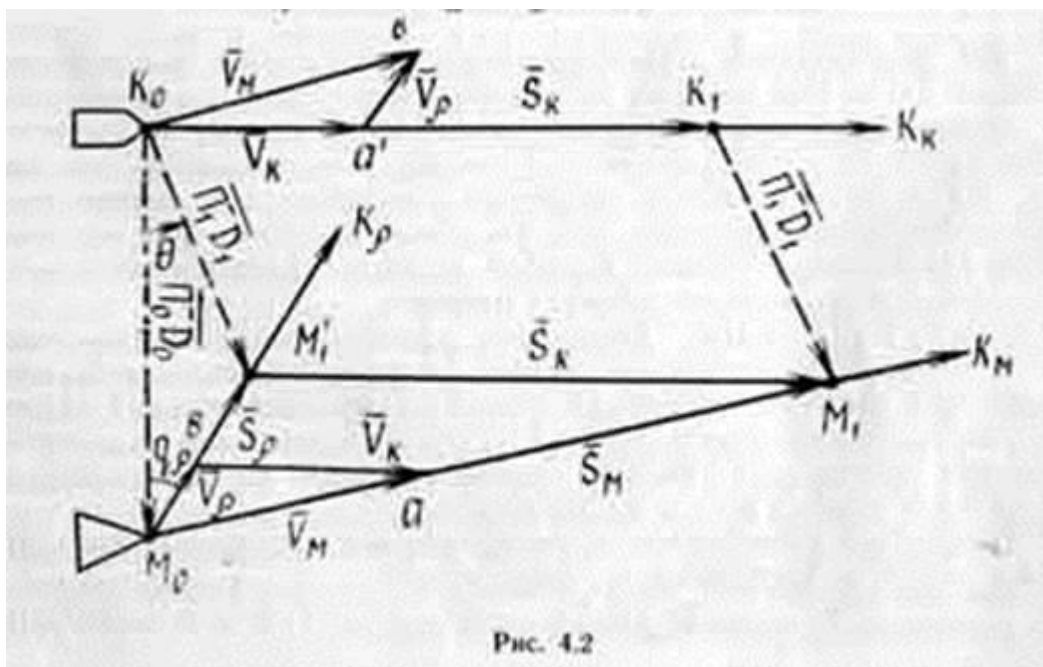
$$S_M = S_k + S_r \quad (4.3)$$

откуда

$$S_r = S_M - S_k. \quad (4.4)$$

Таким образом, чтобы перейти к относительному движению, необходимо из абсолютного движения исключить переносное.

Пусть корабли M и K , находящиеся в начальный момент в точках M_0 и K_0 (рис. 4.2), следуют соответствующими курсами K_M и K_K и скоростями V_M и V_K .



Начальная позиция маневрирующего корабля определяется пеленгом Π_0 и дистанцией D_0 .

Через некоторый промежуток времени t корабль M , пройдя расстояние $S_M = V_M t$ переместится в точку M_1 а корабль K - в точку K_1 , пройдя расстояние $S_K = V_K t$ при этом новая позиция M_1 маневрирующего корабля будет определяться вектором $\Pi_1 D_1$, то есть пеленгом Π_1 и дистанцией D_1 .

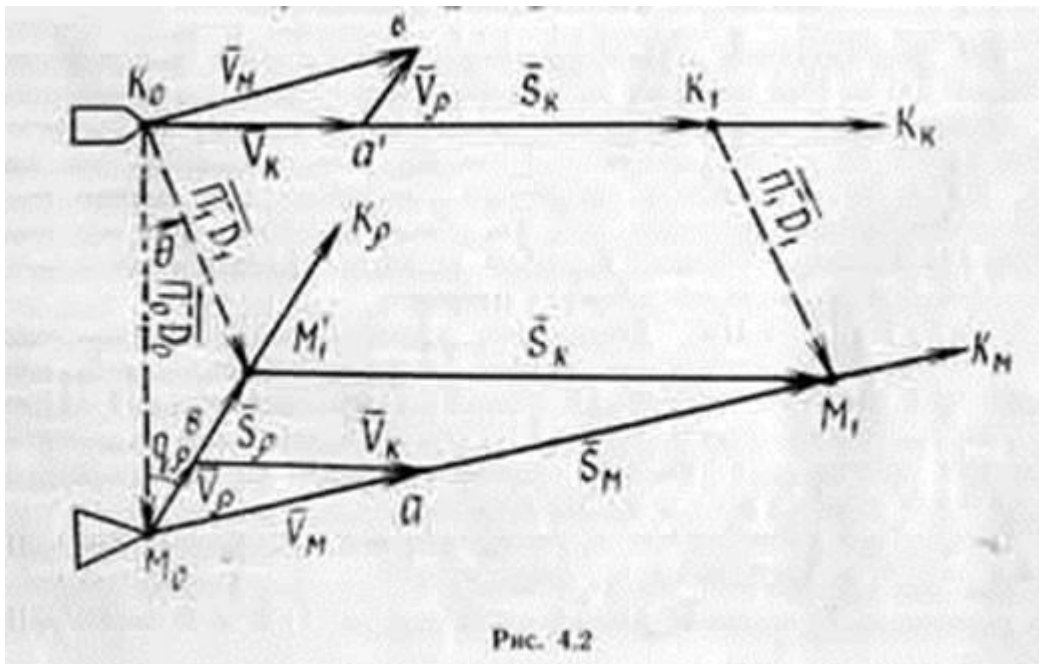
Чтобы определить относительную позицию M'_1 на момент времени $T_1 = T_0 + t$, надо, как это следует из формулы (4.4), из вектора S_M геометрически вычесть вектор S_K , тогда вектор $M_0 M'_1$ будет вектором относительного перемещения S_r , а M'_1 - относительной позицией маневрирующего корабля на момент времени T_1 и взаимное расположение кораблей для точки M_1 будет точно таким же, как и для точки M'_1 , так как векторы $K_1 M_1$ и $K_0 M'_1$ равны и параллельны. Это вытекает из того, что $K_0 K_1 M_1 M'_1$ - параллелограмм (по построению).

Если нанести фактические места маневрирующих кораблей на некоторые моменты времени T_2, T_3, \dots, T_n , то аналогично можно найти соответствующие относительные позиции маневрирующего корабля (M'_2, M'_3, \dots, M'_n), которые лежат на так называемой линии относительного движения (ЛОД). Это та линия, по которой перемещается маневрирующий корабль относительно объекта маневра. Направление линии относительного перемещения, отсчитанное от истинного меридиана, называется относительным курсом, который обозначается символом K_r .

Таким образом, изучение закономерностей изменения элементов позиции маневрирующего корабля M относительно объекта маневра K как следствия перемещения кораблей M и K относительно поверхности Земли со скоростями V_M и V_K можно заменить изучением закономерностей изменения элементов позиции корабля M как следствия его перемещения относительно корабля K с относительной скоростью M_r . В этом и состоит сущность метода относительного движения.

Решение задач тактического маневрирования этим методом сводится к решению векторных уравнений (4.2), (4.3), (4.4) путем построения треугольников позиций, скоростей и перемещений.

4.3 Треугольники маневрирования, их характеристика и приемы решения



Треугольник $K_0M_0M'_1$ (рис. 4.2), вершинами которого являются позиции M_0 , K_0 , M'_1 маневрирующих кораблей в начале и конце маневра, а сторонами векторы начальной и конечной позиций Π_0D_0 , Π_1D_1 и вектор относительного перемещения маневрирующего корабля S_r , называется треугольником позиций.

В треугольнике позиций вектор S_r всегда направлен от начальной позиции маневрирующего корабля к конечной относительной позиции, то есть $\Pi_1D_1 = \Pi_0D_0 + S_r$.

Угол q_r между вектором Π_0D_0 и вектором S_r называется относительным курсовым углом.

Угол $M'_1K_0M_0$ есть приращение пеленга за время маневра. Он равен разности пеленгов $\Pi_1 - \Pi_0$ и обозначается буквой q .

Треугольник позиций дает геометрическую картину маневра в относительном движении, т. е. показывает перемещение маневрирующего корабля относительно объекта маневра.

Треугольник $M_0M_1M'_1$, сторонами которого являются векторы перемещения маневрирующих кораблей S_m , S_k , S_r , называется треугольником перемещений. Он служит для перехода от относительного движения к абсолютному и показывает взаимосвязь абсолютных перемещений S_m и S_k маневрирующих кораблей и относительного перемещения S_r . Треугольник перемещений строится при начальной позиции маневрирующего корабля приемом обратного построения, то есть решается уравнение $S_r = S_m - S_k$.

Для определения абсолютной позиции маневрирующего корабля в конце маневра, то есть для перехода от относительного движения к абсолютному, необходимо из начальной позиции маневрирующего корабля M_0 провести линию его курса K_m , а из относительной позиции M'_1 - линию курса объекта маневра K_k . В точке пересечения линий этих курсов и будет позиция маневрирующего корабля к моменту окончания маневра (точка M_1).

Если построить треугольник перемещений за время маневрирования, равное единице, получим треугольник M_0ab со сторонами V_M , V_K , V_T , который называется треугольником скоростей.

Треугольник скоростей определяет взаимосвязь курсов кораблей K и M с курсом и скоростью относительного движения.

Существуют два приема построения треугольников скоростей: прямой и обратный.

При прямом построении векторы V_M и V_K прокладываются из одной точки, а вектор относительной скорости V_T соединяет конец вектора V_K с концом вектора V_M , то есть при таком построении графически решается уравнение $V_M = V_K + V_T$. Таким приемом построен треугольник $K_0a'b'$.

Обратное построение отличается от прямого тем, что концы векторов V_M и V_K сходятся в одной точке, а вектор относительной скорости V_T соединяет начала обоих векторов, то есть решается уравнение $V_T = V_M - V_K$. Таким приемом построен треугольник M_0ab .

Способ построения треугольника скоростей зависит от известных в условии задачи элементов, составляющих треугольник.

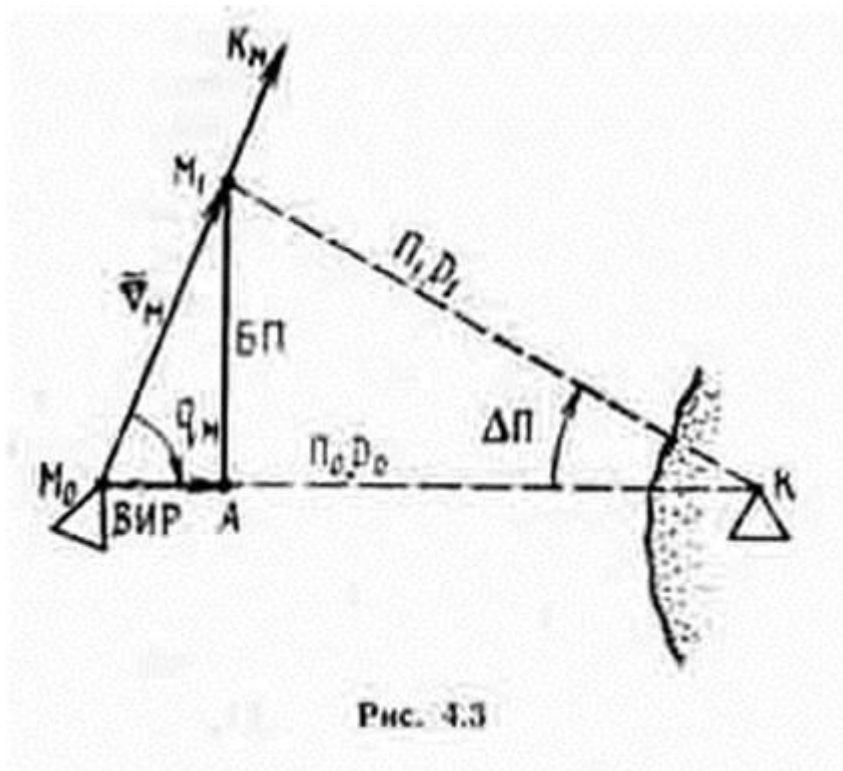
Треугольники скоростей, перемещений и позиций связаны между собой:

- треугольник перемещений и треугольник позиций имеют общую сторону S_T ;
- треугольник скоростей и треугольник перемещений подобны, поэтому $S_M / V_M = S_K / V_K = S_T / V_T = t$. Значит, время маневра можно найти через элементы абсолютного, переносного и относительного движения;
- общим элементом для всех трех треугольников маневрирования является относительный курс K_T .

Одновременное рассмотрение треугольников маневрирования дает возможность наглядно представить весь маневр как в относительном, так и в абсолютном движении.

4.4 Основные элементы маневрирования

Кроме точного решения задач маневрирования с помощью векторных треугольников используется метод с применением основных элементов маневрирования - величин, характеризующих скорость изменения пеленга и дистанции.



Пусть корабль маневрирует из начальной позиции M_0 (рис. 4.3) постоянными курсом и скоростью относительно объекта K . Скорость изменения дистанции и пеленга можно определить как первые производные этих величин по времени:

$$V_D = dD / dt; \quad (4.5)$$

$$w_\Pi = d\Pi / dt, \quad (4.6)$$

Из выражений (4.5) и (4.6) можно определить элементарные приращения дистанции и пеленга:

$$dD = V_D dt; \quad (4.7)$$

$$d\Pi = w_\Pi dt. \quad (4.8)$$

Разложив вектор скорости корабля V_m на составляющие, направленные по линии начального пеленга и перпендикулярно к нему, получим мгновенные скорости изменения расстояния V_D и пеленга w_Π :

$$V_D = - V_m \cos q_m. \quad (4.9)$$

Знак V_D определяется величиной курсового угла. При курсовых углах от 0 до 90° V_D имеет отрицательный знак (дистанция уменьшается), при курсовых углах от 90 до 180° - положительный (дистанция увеличивается).

Угловая скорость изменения пеленга определяется поперечной составляющей вектора скорости V_m и расстоянием D между маневрирующим кораблем и объектом маневра:

$$V_{БП} = D d\Pi / dt. \quad (4.10)$$

Поперечная составляющая называется мгновенной скоростью бокового перемещения корабля. Из рис. 4.3 следует, что

$$V_{\text{БП}} = V_{\text{м}} \sin q_{\text{м}}. \quad (4.11)$$

Тогда, учитывая (4.10), получим

$$w_{\Pi} = d\Pi / dt = V_{\text{БП}} / D = V_{\text{м}} \sin q_{\text{м}} / D. \quad (4.12)$$

Знаки w_{Π} и $V_{\text{БП}}$ совпадают. Они определяются знаком приращения пеленга при его изменении. При маневрировании относительно объекта маневра правым бортом приращение пеленга положительно, левым - отрицательно.

Значения первых производных дистанции и пеленга по времени называют величиной изменения расстояния (ВИР) и величиной изменения пеленга (ВИП), а вспомогательную величину $V_{\text{БП}}$ - боковым перемещением (БП).

Итак, если величины ВИР и БП выражаются в тех же единицах, что и скорости кораблей, то для их вычисления пользуются формулами:

$$\text{ВИР}_{\text{м}} = - V_{\text{м}} \cos q_{\text{м}}; \quad (4.13)$$

$$\text{БП}_{\text{м}} = V_{\text{м}} \sin q_{\text{м}}. \quad (4.14)$$

Выражая ВИП в градусах в минуту, можно записать:

$$\text{ВИП} = 57,3 \text{ БП} / D. \quad (4.15)$$

Величины ВИР и БП выражаются в кабельтовых в минуту, ВИП - в градусах в минуту. Если же в формулах (4.13) и (4.14) скорость хода берется в узлах, эти формулы примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{ВИР}_{\text{м}} &= -\frac{1}{6} V_{\text{м}} \cos q_{\text{м}}; \\ \text{БП}_{\text{м}} &= \frac{1}{6} V_{\text{м}} \sin q_{\text{м}}; \\ \text{ВИП}_{\text{м}} &= 57,3 V_{\text{м}} \sin q_{\text{м}} / 6D. \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

В формулах (4.9) - (4.12) курсовой угол $q_{\text{м}}$ и мгновенные скорости изменения дистанции, бокового перемещения и пеленга непрерывно изменяются. Поэтому для отыскания по ним точных значений изменения пеленга и дистанции, необходимо было бы интегрировать правые части выражений (4.7) и (4.8) по дистанции и курсовому углу (пеленгу), а левые - по времени:

$$\int_{D_0}^{D_1} dD = \int_{t_0}^{t_1} V_D dt; \quad \int_{\Pi_0}^{\Pi_1} d\Pi = \int_{t_0}^{t_1} \omega_{\pi} dt.$$

Тогда

$$D_1 - D_0 = V_D t; \quad (4.17)$$

$$\Pi_1 - \Pi_0 = w_{\Pi} t. \quad (4.18)$$

В практике тактического маневрирования элементы позиций D_1, Π_1 по истечении времени вычисляют по формулам, вытекающим из (4.17) и (4.18):

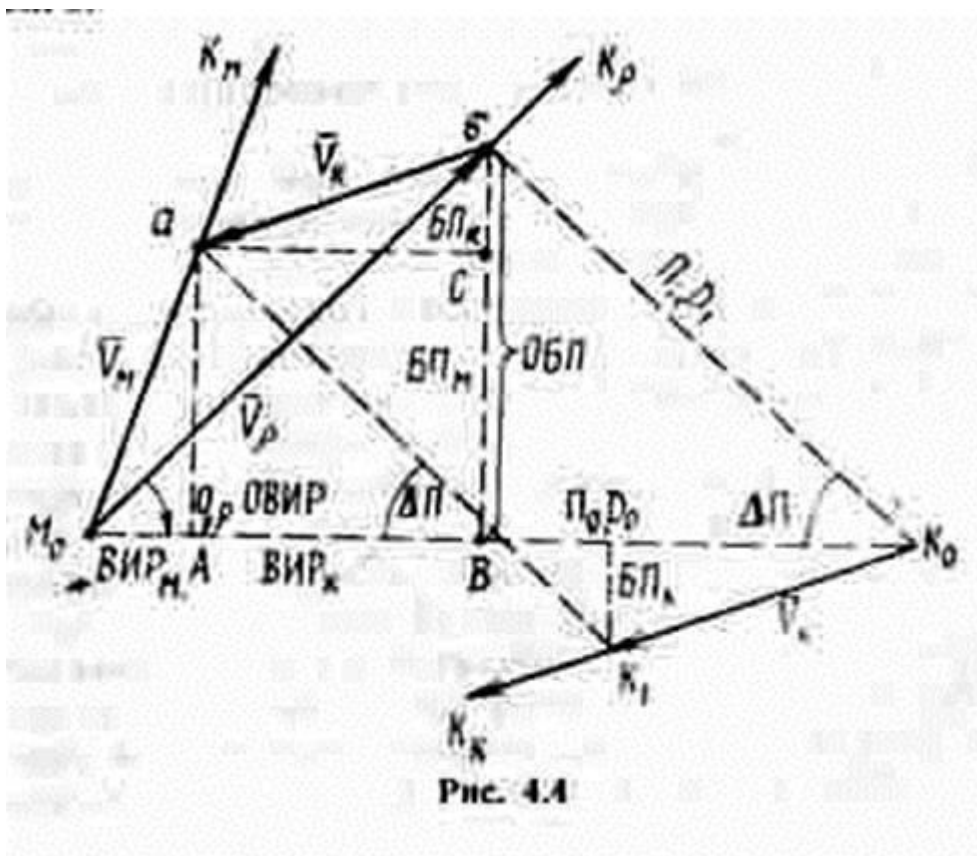
$$\left. \begin{aligned} D_1 &\cong D_0 + \text{ВИР}t, \\ \Pi_1 &\cong \Pi_0 + \text{ВИП}t, \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

где t - время маневра.

При двустороннем маневрировании скорости изменения дистанции, бокового перемещения и пеленга между кораблями определяются параметрами движения обоих кораблей. Рассуждая аналогично случаю одностороннего маневрирования, получим следующие формулы для решения задач двустороннего маневрирования (рис. 4.4):

$$\left. \begin{aligned} \text{ОВИР} &= \text{ВИР}_M + \text{ВИР}_K = -V_M \cos q_M - V_K \cos q_K, \\ \text{ОБП} &= \text{БП}_M + \text{БП}_K = V_M \sin q_M + V_K \sin q_K, \\ \text{ВИП} &= \frac{\text{ОБП}}{D} 57,3, \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

где ОВИР - общая величина изменения расстояния; ОБП - общая величина бокового перемещения; ВИП - величина изменения пеленга.



Тогда элементы позиции маневрирующего корабля при двустороннем маневрировании по истечении времени маневра можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &\cong D_0 + \text{ОВИР}t, \\ \Pi_1 &\cong \Pi_0 + \text{ВИП}t. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

Итак, метод решения задач, базирующийся на применении основных элементов маневрирования, сводится к вычислениям по формулам (4.16) - (4.21).

Так как, пользуясь основными элементами маневрирования, в выражениях разложения расстояния и пеленга в ряд Тейлора

$$\left. \begin{aligned} D(t) &= D(t_0) + \left(\frac{dD}{dt}\right)\Delta t + \frac{1}{2}\left(\frac{d^2D}{dt^2}\right)\Delta t^2 + \dots; \\ \Pi(t) &= \Pi(t_0) + \left(\frac{d\Pi}{dt}\right)\Delta t + \frac{1}{2}\left(\frac{d^2\Pi}{dt^2}\right)\Delta t^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

мы учитываем члены только первого порядка, тем самым допуская ошибку, которая численно будет равна остаточному члену ряда. При решении задач маневрирования по формулам (4.19) и (4.21) ошибки будут тем большими, чем больше t . В практике маневрирования допустимо решать задачи по формулам (4.19), (4.21) для промежутков времени маневрирования, равных нескольким минутам. Особенно значительными могут быть ошибки при быстром изменении пеленга, то есть при больших значениях ВИП. Для

быстроты решения задач маневрирования с применением ВИР, БП и ВИП пользуются табл. 31а, МТ-75.

Элементы маневрирования можно выразить через относительное движение. Из рис. 4.4 следует:

$$\left. \begin{aligned} \text{ОВИР} &= -V_p \cos q_p, \\ \text{ОБП} &= V_p \sin q_p, \\ \text{ВИП} &= 57,3 V_p \sin q_p / D \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

ПОХОЖЕ ТУТ НАПИСАНО КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ НА ПЛАНШЕТЕ ☺

4.5 Задачи тактического маневрирования

При применении оружия, а также при совместном плавании в ордерах кораблю приходится маневрировать для занятия, удержания или изменения позиции.

В быстро меняющейся обстановке современного морского боя может возникнуть необходимость в кратчайший срок изменить дистанцию, с максимальной скоростью изменить пеленг на противника или, наоборот, сохранить его, изменив дистанцию, и т. д. В каждом конкретном случае необходимо правильно выбрать прием маневрирования.

Для расчета элементов маневра применяются аналитический, табличный, приборный и графический способы.

Аналитический способ заключается в определении искомых величин по формулам. Этот способ чаще применяется при исследовательских разработках, теоретических расчетах и при составлении таблиц. Для решения задач в практике маневрирования способ широкого применения не получил, так как не дает возможности решить задачу достаточно быстро и не обладает наглядностью.

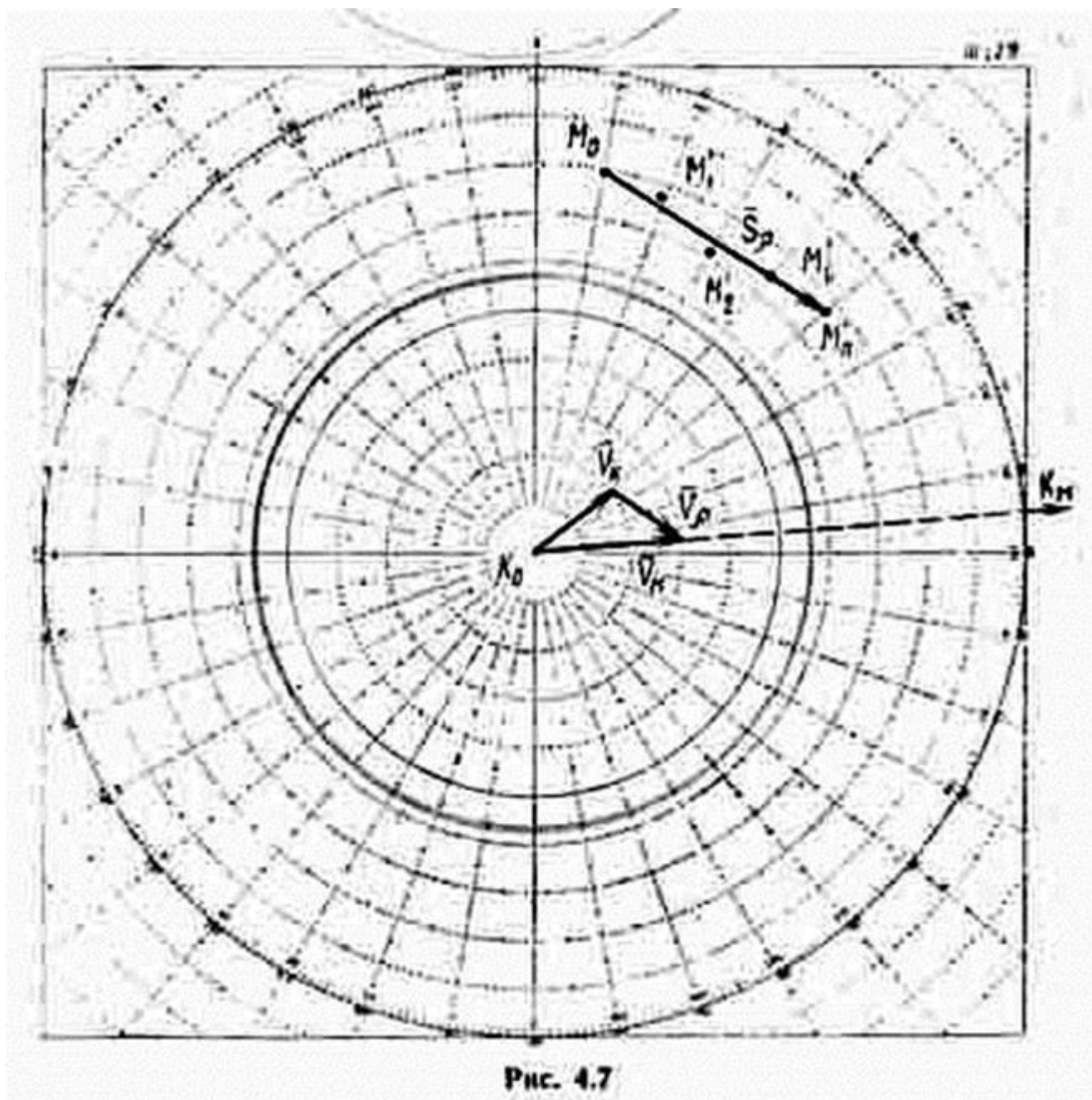
Табличный способ, когда искомые величины находят по таблицам, применяется только при решении некоторых типов задач маневрирования, универсальных таблиц для решения всех задач маневрирования пока не существует. Кроме того, этот способ не обладает достаточными точностью и наглядностью, поэтому широкого распространения на кораблях для решения задач маневрирования не получил.

Широкое применение вычислительной техники, позволяющей быстро и точно определить элементы маневрирования, способствовало тому, что приборный способ стал основным для решения задач маневрирования.

Графический способ решения задач маневрирования прост и удобен. В отличие от других способов он нагляден и позволяет легко проконтролировать все решения. Этот способ обеспечивает достаточные для практических целей быстроту и точность, является наиболее универсальным и автономным. Выполнение расчетов маневрирования графически

обязательно даже в том случае, когда решение задачи обеспечивается другими способами. Это дублирование вызывается требованиями живучести управления.

Графическое решение задач маневрирования может выполняться на навигационной карте, на листе бумаги или на маневренном планшете. Маневренный планшет (см. рис. 4.7) представляет собой совмещенные азимутальную и стадиметрическую сетки. Началом координат является совмещенный центр обеих сеток.



Азимутальная сетка образована рядом радиальных прямых, проведенных из центра планшета через каждые 10° . Стадиметрическая сетка служит масштабной шкалой. Она образована рядом концентрических окружностей, проведенных на одинаковом удалении одна от другой. На внешней окружности стадиметрической сетки нанесены две шкалы градусных делений от 0 до 360° .

Наружная шкала обозначает направления от центра планшета относительно линии 0-180, принятой за меридиан. Внутренняя шкала отличается от внешней на 180, поэтому она используется при нанесении (снятии) обратных пеленгов.

4.6 Предвычисление (прогнозирование) элементов относительных позиций

[illegible]

1. Расчет позиции маневрирующего корабля, когда расстояние до объекта маневра равно заданной величине D_3 .

Для решения задачи нужно раствором циркуля, равным в принятом масштабе заданной дистанции, из точки K_0 сделать засечку на линии относительного движения K_r . Полученная точка M'_1 соответствует заданному положению между кораблями.

2. Расчет позиции, когда пеленг на объект маневра равен заданному значению Π_3 .

Проведя из точки K_0 линию заданного пеленга, получим точку пересечения ее с линией относительного курса K_r , в которой находится позиция M'_2 соответствующая поставленному условию.

3. Определение момента, когда расстояние между кораблями кратчайшее $D_{кр}$.

Опустив из точки K_0 перпендикуляр на линию K_r , получим позицию M'_3 , соответствующую кратчайшему расстоянию между кораблями.

4. Определение момента, когда пеленг изменяется на заданную величину q .

Для решения этой задачи нужно отложить от начального пеленга заданный угол q и провести прямую до пересечения с линией K_r . В точке пересечения M'_4 и будет находиться позиция, пеленг из которой на объект маневра равен $(\Pi_0 + q)$.

5. Определение дистанции и времени, когда один из кораблей пересечет курс другого.

Проведя из точки K_0 линии курсов K_m и K_k до пересечения с линией K_r , найдем позицию M'_5 , в которой корабль M пересечет курс корабля K на расстоянии $K_0M'_5$ и позицию M'_8 , в которой корабль K пересечет курс корабля M по корме на расстоянии $K_0M'_8$.

6. Расчет позиции маневрирующего корабля, в которой он будет находиться на заданном курсовом угле $q_{кз}$ относительно объекта маневра.

Отложив от вектора скорости объекта маневра заданный курсовой угол $q_{кз}$, проведем линию до пересечения с линией относительного курса K_r и получим позицию M'_6 , соответствующую поставленному условию.

7. Расчет позиции, в которой курсовой угол на объект маневра равен заданной величине $q_{мз}$.

Через позицию K_0 проведем прямую под углом $K_m + q_m \pm 180^\circ$ к меридиану. В пересечении этой линии с относительным курсом K_r находим позицию M'_7 , соответствующую заданному условию. Время маневра для любой из перечисленных задач легко определить, разделив соответствующий отрезок перемещения S_r на относительную скорость, то есть $t = S_r / V_r$.

Чтобы определить взаимное положение кораблей через заданный промежуток времени, необходимо рассчитать относительное перемещение корабля за это время $S_r = V_r t$ нанести относительную позицию и снять необходимые элементы позиции.

Предвычисление взаимного положения можно производить с помощью элементов маневрирования, пользуясь формулами (4.21).

4.7 Определение элементов движения цели и оценка точности их определения

4.7.1 Общие положения

Очередные измерения пеленга и дистанции позволяют определить последующие места цели M_1, M_2, M_3 и т.д. на момент времени T_1, T_2, T_3 и т. д. Соединив точки $M_0, M_1, M_2 \dots, M_n$, получим прямую M_0M_n , которая представляет собой перемещение S_m цели за время наблюдений $t = T_n - T_0$. Направление этой линии относительно северной части линии истинного меридиана есть курс цели. Скорость цели определяется по формуле $V_m = S_m / t$.

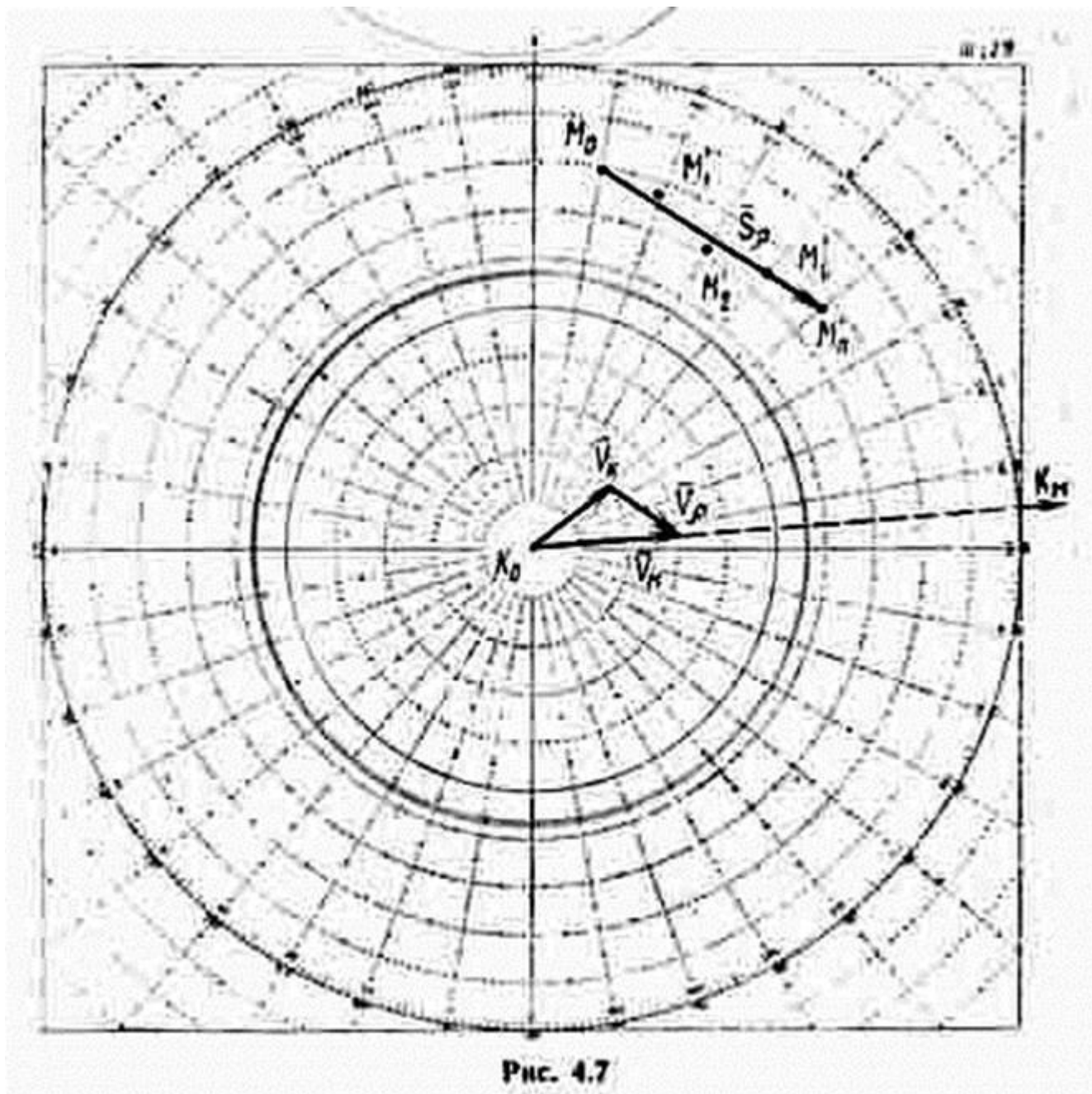
К достоинствам такого способа определения можно отнести наглядность перемещения кораблей относительно друг друга и относительно навигационной обстановки, возможность оценки изменения тактических условий в результате выполнения маневра относительно цели, к недостаткам-трудоемкость.

4.7.3 Определение ЭДЦ на маневренном планшете

Сущность способа заключается в нанесении на планшет относительных позиций по измеренным пеленгам на цель и дистанциям до нее и в последовательном решении треугольников позиций и скоростей.

На маневренном планшете задачу удобнее решать, принимая неподвижным в центре планшета свой корабль. В данном случае он является объектом маневра и обозначается K .

Для построения треугольника позиций по измеренным пеленгам P_0, P_1, \dots, P_n и дистанциям D_0, D_1, \dots, D_n (рис. 4.7) наносятся относительные позиции маневрирующего корабля (цели) M_0, M'_1, \dots, M'_n и соединяются прямой линией. Вектор $M_0M'_n$ представляет собой вектор относительного перемещения цели S_r .



Для определения курса и скорости цели при точке K_0 строится треугольник скоростей. По курсу объекта маневра (своего корабля) K_k откладывается вектор скорости V_k и из его конца параллельно вектору S_r и в том же направлении проводится вектор V_r , величина которого определяется по формуле

$$V_r = S_r / t,$$

где t - промежуток времени между первым и последним замерами.

Направление вектора V_m , соединяющего центр планшета с концом вектора V_r , снимается с внешней шкалы маневренного планшета и является искомым курсом цели K_m . Скорость цели определяется по длине вектора V_m (с учетом масштаба построений треугольника скоростей).

Точность курса и скорости цели, определяемых графически по двум или более замерам пеленгов и дистанций, зависит от точности измерения пеленгов и дистанций и точности графических построений.

Ошибки измерений зависят от технических характеристик средства, с помощью которого производятся измерения, а также от практических навыков оператора. Точность измерения пеленгов и дистанций каждым техническим средством рассчитывают для каждого оператора по результатам тренировок.

Ошибки графики зависят от масштаба карты (маневренного планшета) и точности графических построений.

При расчете ЭДЦ графическим способом на маневренном планшете эти ошибки, как показывают практические исследования, находятся в пределах: $m_{П.граф} = 0,1^\circ \div 0,3^\circ$; $m_{D.граф} = 0,2 \div 0,4$ каб.

4.8 Решение задач тактического маневрирования на маневренном планшете

4.8.1 Одновременное изменение направления на объект маневра и дистанции до него

Одновременное изменение направления на объект маневра и дистанции до него является наиболее общей задачей тактического маневрирования. Большинство других задач на изменение позиции сводится к частным случаям этой общей задачи.

Чтобы рассчитать маневр, необходимо знать элементы движения объекта маневра K_k и V_k а также элементы позиции маневрирующего корабля $П_0$, D_0 на момент начала выполнения маневра. Предположим, что в заданный момент времени T_0 маневрирующий корабль находится относительно объекта маневра по пеленгу $П_0$ в дистанции D_0 (рис. 4.8). Объект маневра следует курсом K_k и скоростью V_k .

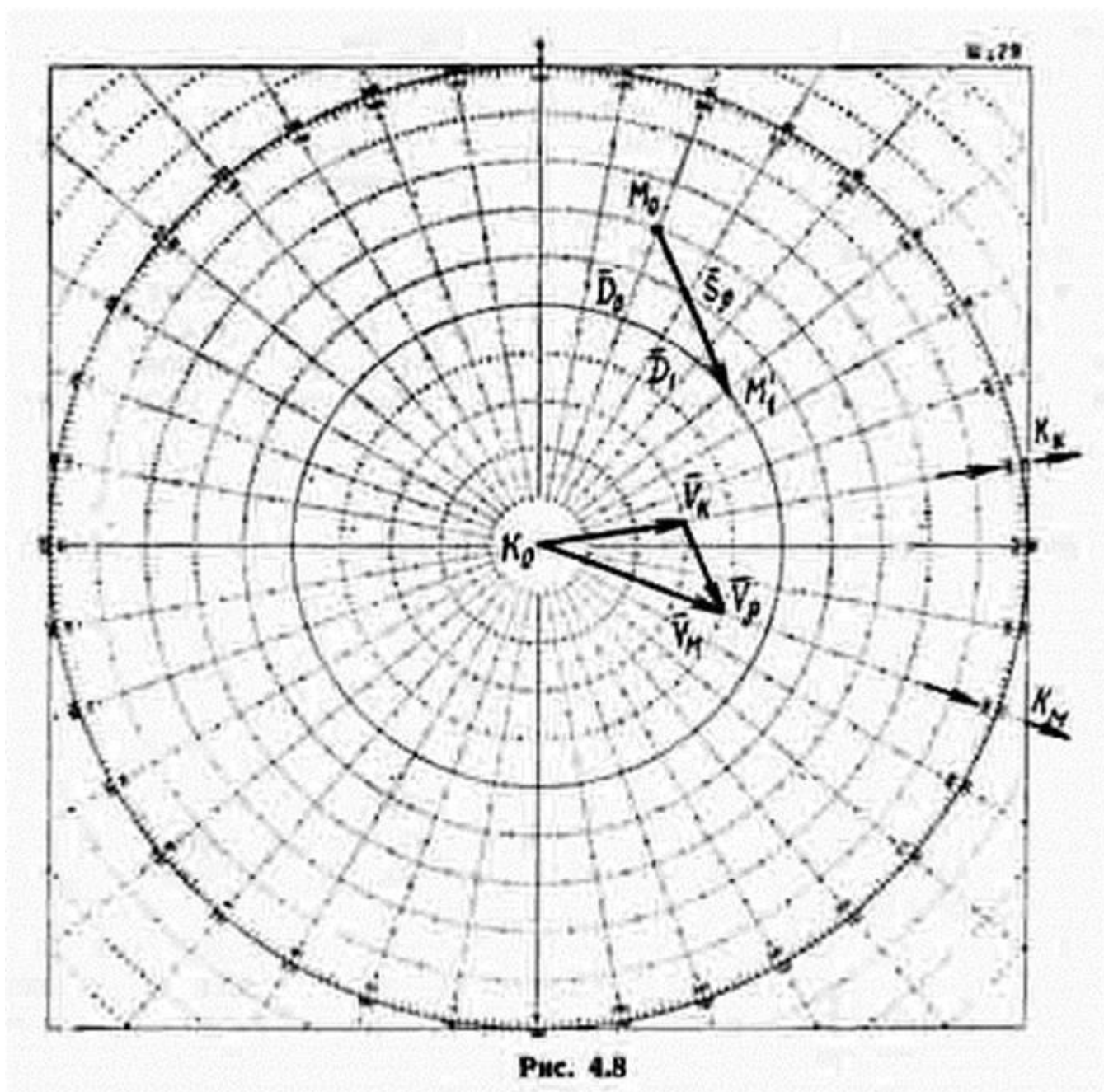


Рис. 4.8

Для выполнения поставленной задачи маневрирующему кораблю необходимо изменить и направление, и дистанцию, то есть занять новую позицию M'_1 по пеленгу Π_1 и на дистанции D_1 . В общем случае данная задача имеет множество решений, но чаще всего производится расчет курса для изменения позиции при назначенной скорости хода. Эта скорость назначается исходя из возможностей энергетической установки, поставленной задачи, гидрологических условий.

Решение задачи начинается с построения треугольника позиций. Считая, что объект маневра K находится в центре планшета, по пеленгу Π_0 и на дистанции D_0 от него наносят начальную позицию M_0 маневрирующего корабля, по заданным Π_1 и D_1 - относительную позицию M'_1 . Вектор $M_0M'_1$ является вектором относительного перемещения S_r . Для определения курса маневрирующего корабля строится треугольник скоростей. Из центра планшета K_0 откладывается вектор V_k , а из его конца параллельно вектору S_r и в том же направлении проводится линия относительного курса K_r до пересечения с окружностью планшета, соответствующей заданной скорости маневрирующего корабля V_m . В точке пересечения сходятся концы векторов V_m (начало в центре планшета) и V_r (начало в конце вектора V_k). направление вектора V_m , снятое с внешней шкалы маневренного планшета, дает искомый курс маневрирующего корабля K_m для изменения позиции. Если при построении

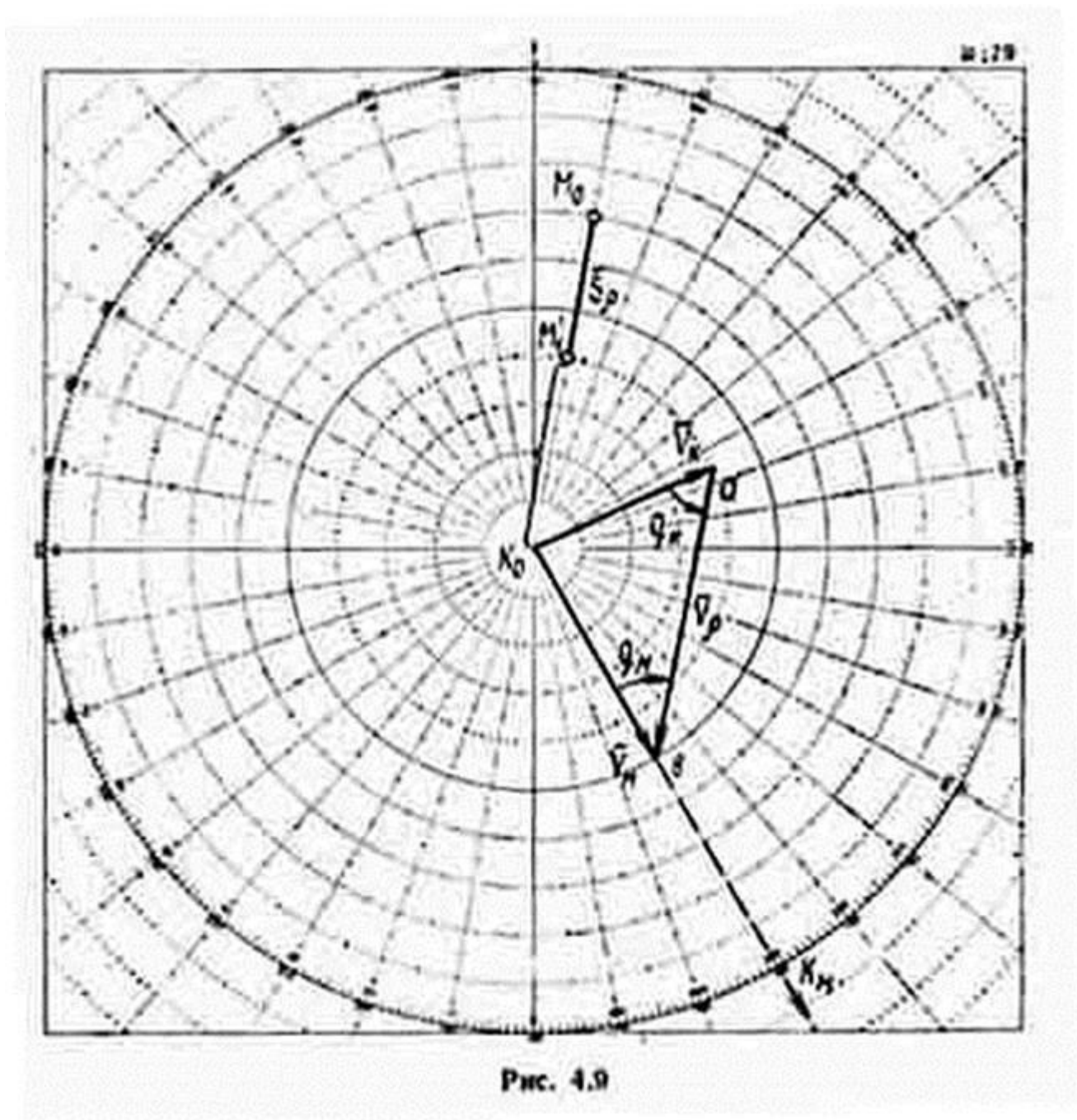
треугольника скоростей линия относительного курса пересекает окружность, соответствующую V_m в двух точках, то это значит, что маневр заданной скоростью выполним двумя курсами. Из двух решений выбирается то, которое удовлетворяет требованиям поставленной задачи.

Чтобы найти время маневра, нужно, исходя из масштабов построений, определить величину относительного перемещения S_r , величину относительной скорости V_r и рассчитать время маневра $t = S_r/V_r$.

4.8.2 Изменение дистанции при постоянстве пеленга

Маневр изменения дистанции применяется в том случае, когда направление на объект маневра уже удовлетворяет поставленной задаче. Эта задача решается как частный случай рассмотренной выше задачи изменения позиции.

При построении треугольника позиций относительная позиция M'_1 (рис. 4.9) будет находиться на линии начального пеленга на заданной дистанции D_3 от объекта маневра, то есть линия относительного перемещения совпадает с линией начального пеленга. Поэтому треугольник позиций представляет собой прямую линию $K_0M_0M'_1$.



Решение скоростного треугольника для определения курса маневрирующего корабля при заданной скорости осуществляется так же, как и при решении задачи на изменение позиции (см. рис. 4.8). Время выполнения маневра определяется отношением $t = (D_0 - D_3) / V_r$.

Из треугольника скоростей следует, что

$$V_m \sin q_m = V_k \sin q_k. \quad (4.24)$$

Поэтому

$$\sin q_m = (V_k / V_m) \sin q_k. \quad (4.25)$$

Если при постоянстве пеленга происходит сближение кораблей, то правая и левая части (4.24) будут иметь противоположные знаки (корабли маневрируют разноименными бортами). Тогда ОБП = БП_м + БП_к = 0, то есть, сближаясь при постоянстве пеленга, корабли *M* и *K* придут в точку пересечения линий их курсов одновременно. В связи с этим, обнаружив, что пеленг на приближающийся корабль не меняется, во избежание

столкновения необходимо нарушить равенство боковых перемещений изменением курса или скорости своего корабля.

Рассмотренный маневр изменения дистанции без изменения пеленга позволяет сделать следующие выводы:

- маневр изменения дистанции при постоянстве пеленга можно выполнить относительно объекта, курс и скорость которого неизвестны, для этого необходимо добиться равенства боковых перемещений;
- из выражения (4.25) вытекает возможность определения одного из элементов движения цели, когда известен другой:

$$q_k = \arcsin [(V_M / V_K) \sin q_M];$$

$$V_K = V_M \sin q_M / \sin q_K.$$

Наиболее часто этот маневр применяется при выходе в атаку, особенно на малых дистанциях, когда необходимо сократить дистанцию и уточнить элементы движения цели, сохранив ее курсовой угол.

4.8.3 Изменение дистанции до цели курсом, равным или обратным начальному пеленгу на нее

При обнаружении цели на больших дистанциях, когда величина изменения пеленга мала, а элементы движения цели определить не представляется возможным, целесообразно применение маневра курсом, равным пеленгу обнаружения, для сокращения дистанции, или курсом, обратным пеленгу, для ее увеличения. Обоснование этого способа изменения дистанции вытекает из формулы (4.23). Действительно, независимо от элементов движения цели маневрирование на своем курсовом угле 0 или 180° ведет к максимальной скорости изменения расстояния между кораблями, так как второй член равенства (4.23) при $q_r = 0^\circ$ (180°) приобретает максимальное значение.

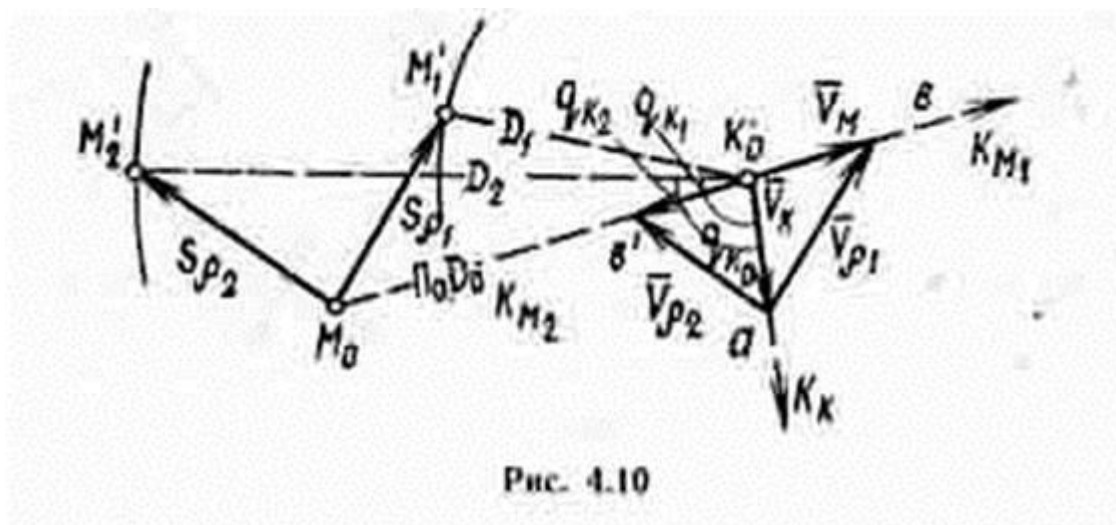


Рис. 4.10

В процессе выполнения данного маневра всегда будет происходить увеличение курсового угла цели независимо от того, какая решается задача - сближение или расхождение с целью. Это наглядно представлено на рис. 4.10, где показан характер относительного перемещения корабля при сокращении и при увеличении дистанции. Если корабль для сокращения дистанции ляжет на курс K_{M1} , равный начальному пеленгу на цель, то в соответствии с

треугольником скоростей K_0ab сближение на заданную дистанцию произойдет в позиции M'_1 на курсовом угле цели $q_{k1} > q_{k0}$. Если тому же кораблю необходимо оторваться от цели, то курсом $K_{м2}$ (треугольник скоростей K_0ab') он выйдет на заданную дистанцию D_2 в позиции M'_2 на курсовой угол цели $q_{k2} > q_{k0}$

4.8.4 Изменение направления на цель в кратчайший срок

Такая задача может решаться при занятии исходной позиции для совместного применения оружия группой кораблей с нескольких направлений, для быстреего выхода на угрожаемое направление относительно охраняемых сил при плавании в составе соединения и т. п.

Для выхода в кратчайший срок на заданное относительно объекта маневра направление необходимо маневрировать курсом, перпендикулярным заданному направлению. В этом случае длина отрезка абсолютного перемещения маневрирующего корабля будет наименьшей. Действительно, построив треугольник скоростей K_0ab (рис. 4.11), где вектор V_m перпендикулярен заданному пеленгу Π_1 и направлен в сторону этого пеленга, находим вектор относительной скорости V_r , а в точке пересечения линии относительного курса, проведенного из начальной позиции маневрирующего корабля M_0 , с линией заданного пеленга получим относительную позицию M'_1 .

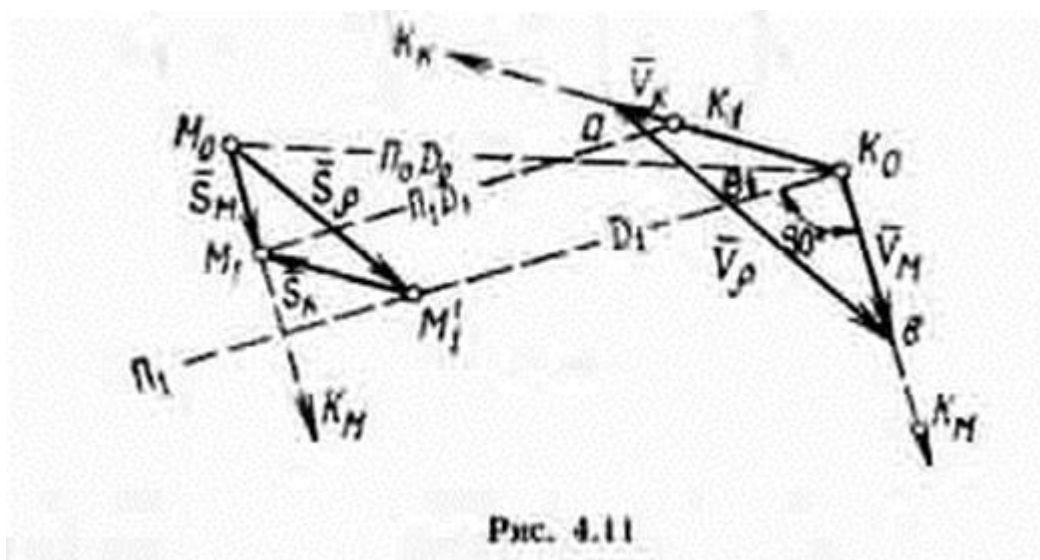


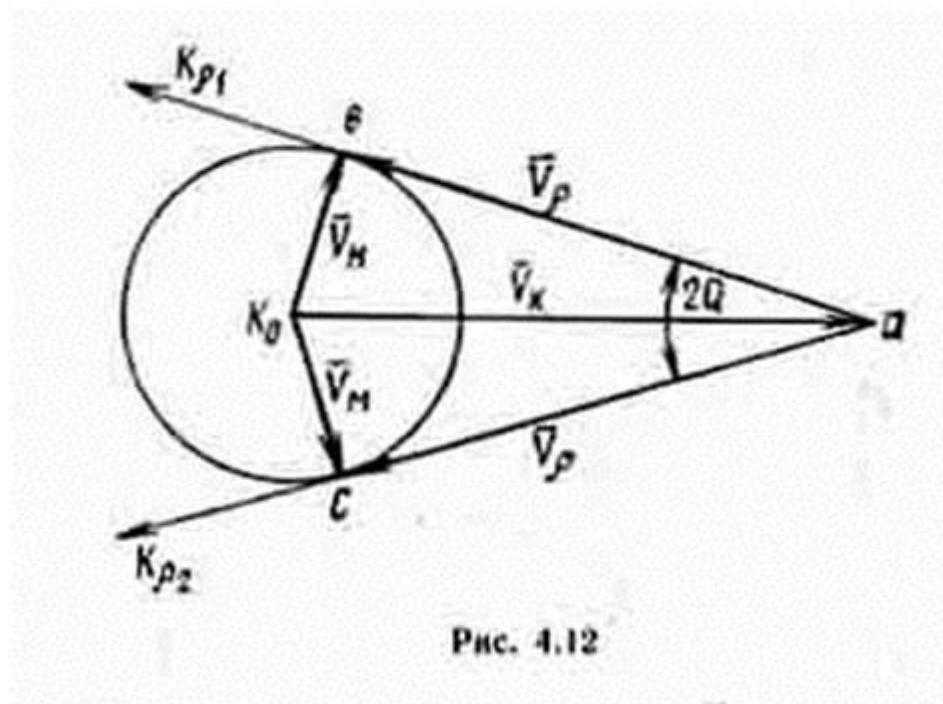
Рис. 4.11

Из треугольника перемещений $M_0M_1M'_1$ видно, что абсолютное перемещение корабля M_0M_1 является кратчайшим расстоянием до линии заданного пеленга, так как угол $M_0M_1K_1$ - прямой. Кратчайшим поэтому является и время маневра, которое можно рассчитать как через элементы относительного движения, так и через элементы абсолютного движения.

Помимо курса и времени искомым элементом в данной задаче является также дистанция в момент выхода на заданное направление, так как, стремясь к быстреему изменению направления, можно выйти за пределы диапазона выгодных дистанций. Эту дистанцию $D_1 = K_0M'_1$ необходимо измерить, построив треугольник позиций $M_0K_0M'_1$. Может оказаться, что эта позиция будет невыгодна по дистанции. В этом случае целесообразен маневр выхода на заданное направление и избранную выгодную дистанцию, то есть должен быть применен общий случай перемены позиции.

4.8.5 Критический курсовой угол

При решении задач на изменение позиции относительно объекта маневра может оказаться, что $V_M < V_K$. Тогда критерием возможности занятия заданной позиции маневрирующим кораблем служит сектор возможных относительных курсов (СВОК). Его можно определить графически. Для этого из конца вектора скорости объекта маневра V_K необходимо провести касательные к окружности радиуса, равного скорости хода маневрирующего корабля (рис. 4.12). Сектор bac , ограниченный предельными относительными курсами маневрирующего корабля, и есть СВОК. В этом секторе располагаются все возможные относительные курсы маневрирующего корабля. СВОК, вершина которого совпадает с начальной позицией, называют сектором доступных позиций (СДП).



Наибольший курсовой угол объекта маневра, при котором маневрирующий корабль, имея скорость, меньшую скорости объекта маневра, еще может сблизиться с ним при постоянстве пеленга, называется критическим курсовым углом и обозначается Q .

Из $\triangle K_0ab$ следует: $\sin Q = V_M / V_K$, откуда $Q = \arcsin V_M / V_K$. Поэтому для оценки возможностей сближения с объектом маневра (при $V_M < V_K$) кроме графических построений пользуются сравнением текущего курсового угла объекта маневра (цели) с критическим Q . Условие сближения на заданную дистанцию при постоянстве пеленга: $q_K \leq Q$. Если $q_K = Q$, линия курса маневрирующего корабля должна быть перпендикулярна линии пеленга ($q_M = 90^\circ$).

4.8.6 Удержание позиции

Как правило, в этом случае позиция задается курсовым углом объекта маневра q_{K3} и дистанцией D_3 . Задачу удержания позиции очень часто приходится решать при совместном плавании, когда охраняемый корабль (уравнитель) изменяет курс, а корабль охраны должен удерживать заданную позицию. Кроме того, задача удержания позиции решается при слежении за противником, при применении оружия и в некоторых других случаях.

Пусть кораблю охраны приказано маневрировать относительно охраняемого корабля, следующего курсом K_{K0} со скоростью V_K , удерживая постоянными его курсовой угол q_{K3} и заданную дистанцию D_3 .

Перед началом выполнения маневра флагман сообщает на маневрирующий корабль время изменения своего курса и его новое значение $K_{к1}$. Корабль охранения должен осуществлять маневр для сохранения ранее заданной позиции, то есть к концу маневра ему необходимо быть на первоначально назначенных курсовом угле $q_{к3}$ и дистанции от уравнивателя D_3 .

С этой целью определяется курс маневрирующего корабля K_m при заранее назначенной скорости хода V_m для занятия заданной позиции относительно нового курса объекта маневра и время маневра.

На маневренном планшете задача решается как частный случай изменения позиции. Начальная позиция маневрирующего корабля M_0 (рис. 4.13) наносится по пеленгу $\Pi_0 = K_{к0} \pm q_{к3}$ и дистанции D_3 . Относительная позиция M'_1 в момент окончания маневра наносится по пеленгу $\Pi_1 = K_{к1} \pm q_{к3}$ и дистанции D_3 . Соединив точки K_0 , M_0 и M'_1 , получим треугольник позиций $K_0M_0M'_1$, сторона $M_0M'_1$ которого представляет собой вектор относительного перемещения S_r .

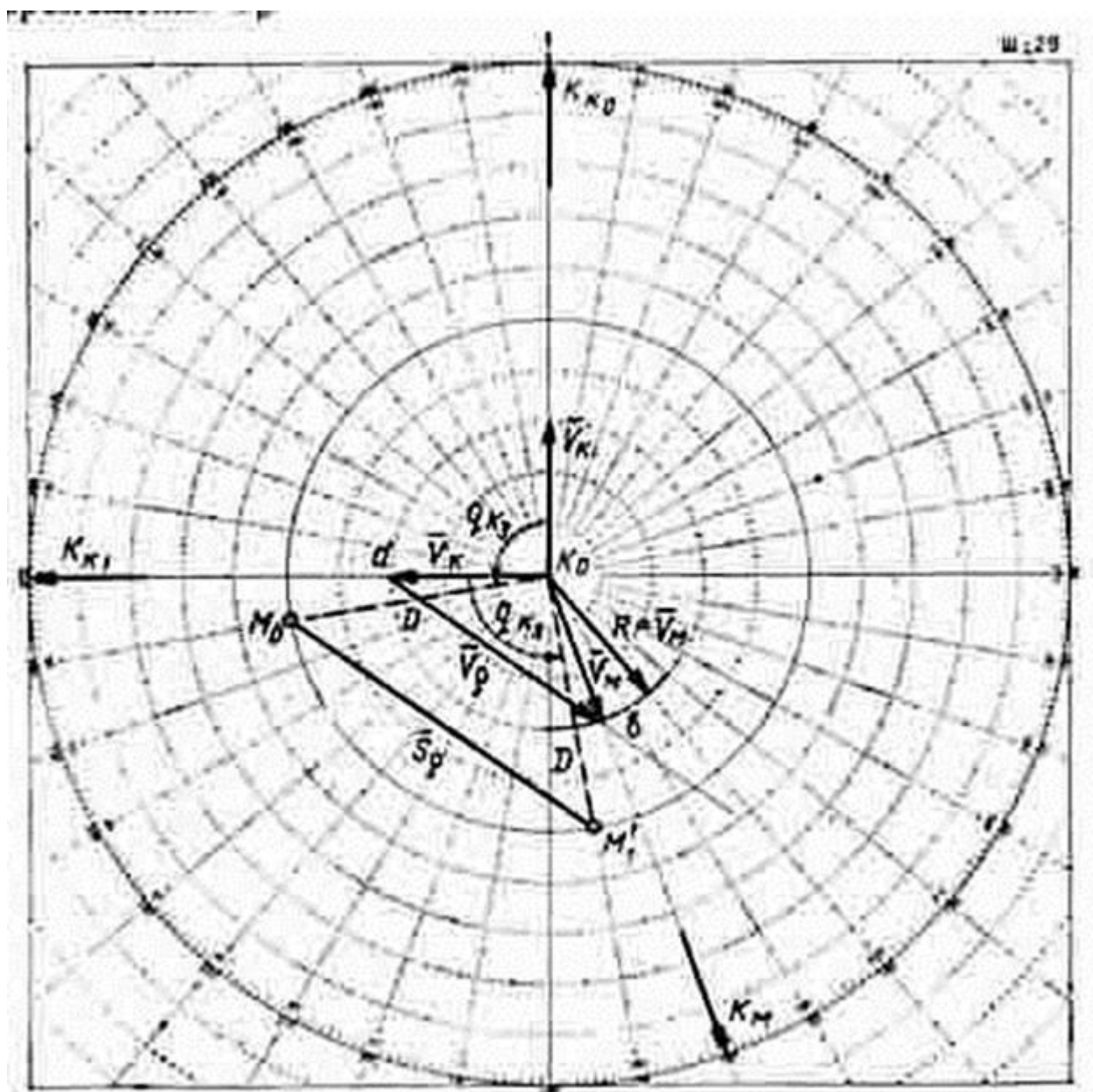


Рис. 4.13

Построение треугольника скоростей производится при точке K_0 на линии нового курса объекта маневра $K_{к1}$. Для этого по линии курса $K_{к1}$ откладывается вектор скорости V_k и из

его конца (точка a) проводится линия параллельно вектору S_r и в том же направлении до пересечения с окружностью, равной (в принятом масштабе) скорости маневрирующего корабля V_m . Соединив центр планшета с полученной точкой, получим треугольник K_0ab , сторонами которого являются векторы скоростей V_m, V_k, V_r . Направление вектора скорости V_m определяет курс маневрирующего корабля K_m для удержания заданной позиции относительно объекта маневра. Время маневра t определяется из отношения S_r / V_r . Если изменение курса объектом маневра осуществляется в сторону от маневрирующего корабля, а $V_m < V_k$, такая задача решения не имеет.