

Лекции по навигации

Фадюшин С. Г., доцент кафедры судовождения

ЛЕКЦИЯ №1

«ВВЕДЕНИЕ В НАВИГАЦИЮ»

Предмет морской навигации, фигура и размеры Земли.
Основные единицы длины и скорости.

Основные качества штурмана:
холодность рассудка, упругость
мысли, цепкость памяти,
проницательность интуиции.

Слово "навигация" происходит от латинского "navigatio", что означает "мореплавание, судоходство". В русский язык оно вошло в эпоху Петра I. В те времена всех, кто занимался мореплаванием, называли "навигаторами".

Морская навигация - это наука об управлении движением морского судна по выбранной или заданной траектории с учётом внешних сил и субъективного фактора.

Основная цель морской навигации - это выработка научно обоснованных методик, способов и рекомендаций для обеспечения безопасного плавания морского судна из пункта отхода в пункт прихода.

Для выполнения основной цели в морской навигации решаются задачи:

- выбора безопасного и выгодного пути судна;
- следования выбранным путём на основании показаний приборов о направлении и пройденном расстоянии (счисления пути судна) и с учётом коррекции траектории движения судна по ориентирам (обсерваций);
- анализа возможных ошибок в счислении пути и обсервациях;

Навигация является ведущей наукой в цикле судоводительских дисциплин, включающем лоцию, мореходную астрономию, технические средства судовождения, математические основы специальности "Судовождение" которые выделены из неё в процессе развития мореплавания.

Навигация - точная наука, построенная на строгой математической основе. Однако для выполнения штурманских обязанностей знания только теории недостаточно. Штурман обязан иметь практические навыки в решении задач навигации, а этого можно достичь только систематическими тренировками.

В навигации большую роль играет субъективный фактор, т. к. авария может произойти и от серьёзного упущения в штурманском деле, и от незначительной ошибки при наблюдениях или вычислениях. Штурман обязан постоянно помнить об этом.

В более широком смысле слово "навигация" употребляется в его первоначальном значении как "мореплавание" (например, летняя навигация, зимняя навигация и т. д.).

Фигура Земли имеет форму геоида, что переводится как «землеподобный».

Геоидом называется фигура, образованная уровенной поверхностью, перпендикулярной вектору силы тяжести, и имеющая неправильную геометрическую форму. Геометрия геоида очень сложна, поэтому вместо геоида при решении штурманских задач используют более простые модели Земли: эллипсоид вращения, сферу, карту. Размеры референц-эллипсоида Красовского: большая полуось $a=6378245$ м; $b=6356863$ м; полярное сжатие $a=(a-b)/a=1/298,3$; эксцентриситет $e=0,0818$; $R=6371110$ м.

Основные единицы длины и скорости, используемые в судовождении

Метрическая система неудобна для измерения расстояний на море, т.к. в процессе судовождения приходится решать задачи, связанные с измерением углов и угловых расстояний. Именно поэтому в качестве основной единицы длины в практике мореплавания принята длина одной минуты дуги меридиана земного эллипсоида.

Морской милей называется одна минута дуги меридиана земного эллипсоида. Обозначается как м. миля. Допускается обозначение как просто миля.

Для референц-эллипсоида Красовского длина одной минуты дуги меридиана (длина одной морской мили) выражается формулой:

$$\Delta = 1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi,$$

где φ - широта.

Как видно из формулы, длина морской мили является величиной непостоянной, зависящей от широты места судна.

В 1928 г. Международное гидрографическое бюро приняло в качестве морской мили постоянную величину, равную 1852 м. Такая миля называется международной стандартной морской милей. В России принята в 1931 году. Однако до сих пор не все страны приняли эту морскую милю. Например, в Японии длина морской мили равна 1853,18 м.

Одна десятая часть морской мили называется кабельтов (кбт):

1 кбт = 0,1 мили = 185,2 м.

За единицу скорости в морской навигации принят узел (уз):

1 уз = 1 миля/час.

При использовании картографических материалов других стран могут встречаться другие единицы длины: Сажень морская, равна 1,828 м или 6 футов. Применяется при обозначении глубин.

Фут, равен 30,48 см применяется для обозначения высот побережья, малых глубин и осадки судна.

Ярд, равен 3 футам или 91,44 см. Используется для измерения небольших расстояний в США и Англии.

Для перехода от одних единиц к другим служит таблица 44 Мореходных таблиц 1975 года. (МТ-75). Соотношения скоростей указаны в табл. 37 МТ-75. В МТ-2000 этим целям служат таблицы 5.15-5.26.

Практические советы:

1. Следует записывать лишь те показания приборов и инструментов, которые наблюдатель действительно видит. «Пишем, что видим, и не пишем того, что не видим». Щепетильность при фиксации и записи измерений - основное правило штурмана.
2. Все записи следует делать сразу начисто, карандашом, избегая случайных черновиков, листов и чернил.
3. Все записи нужно выполнять аккуратно, цифры записывать разряд под разрядом. Неверные вычисления не стирать, а зачёркивать, так, чтобы их можно было разобрать. Именно оно в итоге может оказаться верным.
4. При вычислениях надо всегда пользоваться расчётными схемами. Если схем нет, то их надо составить самому. Вычисление по схеме дисциплинирует счёт, ограждает от ошибок и позволяет организовать контроль. В ответственных случаях, например, при определении координат судна, вычисления необходимо тщательно проверять. Действенным контролем необходимо признать расчёты

по вспомогательным формулам, которые выполняются одновременно с основными расчётами, и сопровождаются графическими построениями.

ЛЕКЦИЯ №2 «ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ»

Основные точки и линии на поверхности Земли, координатные оси, линии, координаты.

Земная ось – это воображаемая линия, вокруг которой происходит суточное вращение Земли.

Географическим (истинным) полюсом называется точка пересечения земной оси с поверхностью Земли. Полюс, откуда вращение Земли усматривается против часовой стрелки, называется северным географическим (истинным) полюсом и обозначается как P_N . Противоположная точка – это южный географический (истинный) полюс. Обозначается как P_S .

Параллель – это малый круг, образованный пересечением эллипсоида плоскостью, перпендикулярной оси вращения Земли. На карте в меркаторской проекции это прямая линия, которая показывает широту.

Экватором называется большой круг, образованный пересечением эллипсоида плоскостью, проходящей через центр Земли перпендикулярно земной оси.

Географическим или истинным меридианом называется большой круг, образованный пересечением эллипсоида плоскостью, проходящей через ось вращения Земли. На карте в меркаторской проекции меридиан – это прямая линия, которая показывает долготу. В соответствии с решением международной меридианной конференции в Вашингтоне (1884 год) в качестве начального (нулевого) меридиана принят Гринвичский меридиан. (Проходит через Гринвичскую обсерваторию близ Лондона). Меридиан, проходящий через место наблюдателя, называется меридианом наблюдателя.

Для определения положения точки на поверхности эллипсоида в навигации применяется географическая система координат. В этой системе координатными осями являются экватор и Гринвичский меридиан, координатными линиями – параллели и меридианы, а координатами – географическая широта и географическая долгота.

Географической широтой называется угол между экватором и нормалью к поверхности эллипсоида. Обозначается буквой φ . Измеряется дугой меридиана от экватора до параллели заданной точки и может изменяться от 0° на экваторе до 90° на полюсе. Экватор делит Землю на северное и южное полушарие, поэтому широта может быть северной (обозначается буквой N и при расчётах ей придаётся знак +) и южной (обозначается буквой S и при расчётах ей придаётся знак -).

Пример: $\varphi = 45^\circ 15,2' N$; $\varphi = 55^\circ 05,1' S$

Географической долготой называется угол между гринвичским меридианом и меридианом наблюдателя. Обозначается буквой λ . Измеряется дугой экватора от 0° до 180° . Гринвичский меридиан делит Землю на восточное (справа от гринвичского меридиана) и западное (слева от гринвичского меридиана) полушария. Поэтому долгота может быть восточной (обозначается буквой E и при расчётах ей придаётся знак +) и западной (обозначается буквой W и при расчётах ей придаётся знак -). Например: $\lambda = 125^\circ 16,9'E$; $\lambda = 105^\circ 00,1'W$

Если в результате расчётов долгота окажется больше 180° , то необходимо взять её дополнение до 360° , а наименование поменять. Например: Если $\lambda = 225^\circ 16,9'E$, то $360^\circ 00,0' - 225^\circ 16,9' = 134^\circ 43,1'W$.

На полюсах долготы нет.

Чтобы показать движение судна в навигации используются такие понятия как разность широт и разность долгот.

Разностью широт ($RШ$, $\Delta\varphi$) называется дуга меридиана, заключённая между параллелями точки отхода (точки отшествия) и точки прихода (точки пришествия). Измеряется от 0° до 180° и имеет наименование к N или к S, а при расчётах соответственно знаки + и -.

$$RШ = \varphi_2 - \varphi_1. \quad (1)$$

Разностью долгот ($RД$, $\Delta\lambda$) называется меньшая из дуг экватора, заключённая между меридианами точки отхода (точки отшествия) и точки прихода (точки пришествия). Измеряется от 0° до 180° и имеет наименование к E или к W, а при расчётах соответственно знаки + и -.

$$RД = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) алгебраические, поэтому в них надо учитывать знаки.

Если в результате расчётов $RД$ получится более 180° , то необходимо взять её дополнение до 360° и поменять наименование.

Кроме географической используются квазигеографическая, локальная, полярная и геодезическая системы координат.

ЛЕКЦИЯ №3 «СЧЁТ НАПРАВЛЕНИЙ В МОРЕ»

Основные плоскости, линии и углы для счёта направлений в море.

Направления в море задаются с помощью следующих углов: ИК, ИП, КУ.

Плоскость, проходящая через место наблюдателя, перпендикулярно отвесной линии, называется плоскостью истинного горизонта.

Плоскость, проходящая через ось вращения Земли и место наблюдателя, называется плоскостью истинного меридиана наблюдателя.

Плоскость, проходящая через отвесную линию, называется плоскостью вертикала. Плоскостью первого вертикала называется плоскость вертикала, перпендикулярная плоскости истинного меридиана наблюдателя.

Плоскость истинного меридиана наблюдателя, пересекая плоскость истинного горизонта, образует на её поверхности линию, которая называется полуденной линией и обозначается как N-S. Эта линия показывает направление на северный и южный географические полюса.

Плоскость первого вертикала, пересекая плоскость истинного горизонта, образует линию E-W. Эта линия показывает направление на восток и на запад.

Диаметральная плоскость (ДП) – это условная вертикальная продольная плоскость, делящая корпус судна на две симметричные части. Диаметрральная плоскость, пересекая плоскость истинного горизонта, образует на её поверхности линию, которая называется линией курса судна.

В навигации основной системой счёта направлений является круговая система. В этой системе счёт ведётся от нордовой части (N_i) истинного меридиана наблюдателя по часовой стрелке от 0° до 360° .

Истинным курсом (ИК) называется угол между нордовой частью истинного меридиана и линией курса судна. ИК показывает движение судна в направлении носовой части ДП относительно N_i .

Истинным пеленгом (ИП) называется угол между нордовой частью истинного меридиана и линией пеленга. ИП показывает направление на ориентир относительно N_i . Линия пеленга – это линия, образованная

пересечением плоскости вертикала, проходящего через место судна и ориентир, с плоскостью истинного горизонта.

Направление, обратное ИП, называется обратным истинным пеленгом (ОИП):

$$\text{ОИП} = \text{ИП} \pm 180^\circ.$$

Курсовым углом (КУ) называется угол между линией курса и линией пеленга. КУ может измеряться как в круговой, так и в полукруговой системах счёта направлений. В полукруговой системе счёта направлений КУ измеряется от носовой части ДП судна от 0° до 180° в сторону правого борта (пр/б) (при расчётах ему придаётся знак +), и в сторону левого борта (л/б) (при расчётах ему придаётся знак -). $\text{КУ} = 90^\circ$ называется траверзом.

$$\text{ИП} = \text{ИК} + \text{КУ}.$$

Другие системы счёта направлений:

Полукруговая. В этой системе счёт ведётся от N и от S к E и к W, от 0° до 180° . Например, N 130° E и S 50° E.

Четвертная. В этой системе счёт ведётся по четвертям от N или S, от 0° до 90° . например, NW 45° , SE 50° .

Румбовая. Счёт ведётся по румбам. Горизонт разбит на 32 румба. 1 румб = $11,25^\circ$. Направления N, S, E и W называются главными румбами. NE, SE, SW, NW – четвертные, а остальные 24 – промежуточные. Для перевода румбов в градусы служит таблица 41 МТ-75. Румбовая система счёта направлений служит для обозначения направлений ветра, течения и волнения.

Необходимо уметь переводить направления из одной системы счёта направлений в другую. Например, направление 135° перевести в другие системы счёта направлений. Ответ: N 135° E, S 55° E; SE 55° ; SE.

ЛЕКЦИЯ №4

«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОГО КОМПАСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ В МОРЕ»

Основные линии, углы. Магнитные и компасные направления.

Для определения направлений в море на морских судах используются магнитные и гироскопические компасы. Чувствительным элементом магнитного компаса является система магнитных стрелок, показывающая направление на северный (N_m) и южный (S_m) магнитные полюса Земли

Плоскостью магнитного меридиана называется условная вертикальная плоскость, проходящая через северный и южный магнитные полюса. В этой плоскости устанавливается система магнитных стрелок магнитного компаса. *Магнитным меридианом* называется след от пересечения плоскости магнитного меридиана с поверхностью земного эллипсоида или с плоскостью истинного горизонта. На поверхности земного эллипсоида это будет большой круг, проходящий через N_m и S_m , а на плоскости истинного горизонта – прямая линия.

Магнитным склонением d называется угол между N_m и N_k .

Пример. На карте показано магнитное склонение на 1985 г. $d_{85} = 1^\circ W$, годовое уменьшение $\Delta d = 0,2^\circ$, т. е. предполагается, что восточное склонение ежегодно уменьшается, приближаясь к 0° , а затем меняет наименование. Необходимо определить склонение в 2000 г.

Решение: $\Delta t = 2000 - 1985 = 15$ лет,

На некоторых картах указывается изменение склонения к E или к W, Открыл изменение магнитного склонения на земном шаре Христофор Колумб в своем первом плавании к берегам Америки в 1492 г. Изменяется оно в широких пределах: от -180 до -180° .

Магнитными направлениями называются направления, отсчитываемые от магнитного меридиана.

Магнитным курсом называется угол между N_m и линией курса.

Магнитным пеленгом называется угол между N_m и линией пеленга.

$$\text{МК} = \text{ИК} - (\pm d);$$

$$\text{МП} = \text{ИП} - (\pm d);$$

$$\text{ОМП} = \text{МП} \pm 180^\circ.$$

На судне магнитный компас находится под воздействием магнитного поля Земли и судна и показывает компасные направления.

Плоскостью компасного меридиана называется условная вертикальная плоскость, проходящая через ось магнитной стрелки, установленной на судне. *Компасным меридианом* называется след от пересечения плоскости компасного меридиана с поверхностью земного эллипсоида или с плоскостью истинного горизонта. На поверхности земного эллипсоида это будет большой круг, проходящий через условные полюсы N_k и S_k , а на плоскости истинного горизонта – прямая линия, показывающая направление на N_k и S_k .

Девацией (δ) называется угол между N_m и N_k .

Компасными направлениями называются направления, отсчитываемые относительно N_k .

Компасным курсом (КК) называется угол между N_k и линией курса.

Компасным пеленгом (КП) называется угол между N_k и линией пеленга.

$$\text{КК} = \text{МК} + (\pm \delta);$$

$$\text{КП} = \text{МП} + (\pm \delta);$$

$$\text{ОКП} = \text{КП} \pm 180^\circ;$$

$$\text{ИК} = \text{КК} + (\pm d) + (\pm \delta);$$

$$\text{ИП} = \text{КП} + (\pm d) + (\pm \delta).$$

Поправкой магнитного компаса называется угол между N_m и N_k .

$$\Delta \text{МК} = (\pm d) + (\pm \delta);$$

$$\text{ИК} = \text{КК} + (\pm \Delta \text{МК});$$

$$\text{ИП} = \text{КП} + (\pm \Delta \text{МК}).$$

ЛЕКЦИЯ №5

«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИРОКОМПАСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ В МОРЕ»

Плоскостью гироскопического меридиана называется плоскость, проходящая через ось гироскопа.

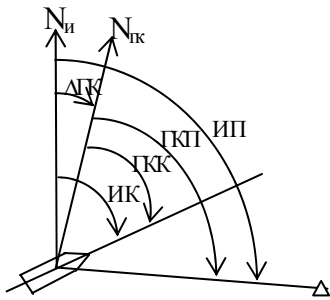
Гироскопическим меридианом ($N_{гк}$ – $S_{гк}$ или $N_{гк}$) называется линия, образованная пересечением плоскости истинного горизонта плоскостью гироскопического меридиана.

Относительно $N_{гк}$ отсчитываются гироскопические направления.

Гирокомпасным курсом (ГКК) называется угол между $N_{гк}$ и линией курса.

Гирокомпасным пеленгом (ГКП) называется угол между $N_{гк}$ и линией пеленга.

Поправкой гирокомпаса (ΔGK) называется угол между $N_{и}$ и $N_{гк}$.



$$ИК = ГКК + (\pm \Delta GK);$$

$$ИП = ГКП + (\pm \Delta GK);$$

$$КУ = ГКП - ГКК;$$

$$\Delta GK = ИП - ГКП;$$

$$\Delta GK = ИК - ГКК.$$

Дополнительные вопросы

Прямая задача (исправление румбов):

$$ИК = КК + (\pm \Delta МК);$$

$$ИП = КП + (\pm \Delta МК);$$

$$ИК = МК + (\pm d);$$

$$ИП = МП + (\pm d);$$

$$МК = КК + (\pm \delta);$$

$$МП = КП + (\pm \delta);$$

Обратная задача (перевод румбов):

$$КК = ИК - (\pm \Delta МК);$$

$$КП = ИП - (\pm \Delta МК);$$

$$МК = ИК - (\pm d);$$

$$МП = ИП - (\pm d);$$

$$КК = МК - (\pm \delta);$$

$$КП = МП - (\pm \delta);$$

Вспомогательные задачи:

$$\Delta МК = ИК - КК;$$

$$\Delta МК = ИП - КП;$$

$$d = ИК - МК;$$

$$d = ИП - МП;$$

$$\delta = МК - КК;$$

$$\delta = МП - КП.$$

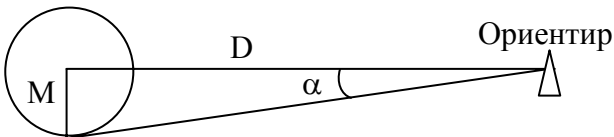
Лекция №6

«Определение поправки компасов»

Определение поправки магнитного компаса и гирокомпаса»

Определение поправки магнитного компаса

1. По удалённому ориентиру. Удалённый ориентир можно определить по формуле: $D \approx 300M$, при допустимой погрешности пеленга $\alpha = 0,20$. Где D - расстояние до удалённого ориентира; M - погрешность определения места судна.



$$\Delta МК = ИП - КП, \quad (1)$$

где $ИП$ снимается с карты, а $КП$ измеряется с помощью пеленгатора (на магнитном компасе измеряется $ОКП$, который затем переводится в $КП$). При определении поправки этим способом необходимо как можно точнее определить место судна, например, по 2 горизонтальным углам, по спутникам.

2. По пеленгу створа. Также используется формула (1). Где $ИП$ - это направление створа (снимается с карты); $КП$ замеряется в момент пересечения створа.
3. По светилу. $\Delta МК = A - КП$, где A - азимут светила (расчитывается астрономическими способами, $КП$ - компасный пеленг на светило).
4. По сличению с другим компасом, поправка которого известна. $КК_n + \Delta МК_n = КК_{2n} + \Delta МК_{2n}$.
5. Расчётный способ. $\Delta МК = d + \delta$, где d выбирается с карты, а δ выбирается из таблицы девиации или определяется по упрощённым способам на 8 равноотстоящих компасных курсах: 00-45-90-135-180-225-270-315 (промежуточные значения δ определяются путём линейной интерполяции).

Способы определения δ

1. По «вееру створов». $\delta_i = МП - КП_i (i = 8); МП = ИП - d$.

$$\delta_i = МП - КП_i (i = 8); МП = ИП - d \text{ или } МП = \frac{\sum_{i=1}^8 КП_i}{8}$$

2. По удалённому ориентиру.

$$\delta_i = МП - КП_i (i = 8); МП = A - d \text{ или } МП = \frac{\sum_{i=1}^8 КП_i}{8}$$

3. По светилам. Достоинство этого способа заключается в том, что точность определения δ не зависит от точности координат места судна.

4. По сличению с другим магнитным компасом, δ которого известна. $КК_n + \delta_n = КК_{2n} + \delta_{2n}$.

5. По взаимному пеленгованию. $\delta_i = (180^\circ + МП_i) - КП_i$ ($i=8$). Где МП берётся по команде с судна на него со шлюпки или берега, КП – с судна.

Определение поправки гирокомпаса

Используются те же способы, что и для определения поправки магнитного компаса:

1. По удалённому ориентиру. $\Delta ГК = ИП - ГКП$.
2. По створу. $\Delta ГК = ИП - ГКП$.
3. По светилу. $\Delta ГК = А - ГКП$.
4. По сличению с магнитным компасом, поправка или девиация которого известны.

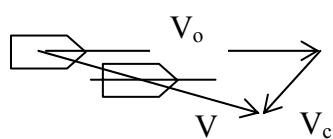
$$КК + \Delta МК = ГКК + \Delta ГК; \quad КК + \delta = ГКК + \Delta ГК - d$$

Поправки $\Delta МК$ и $\Delta ГК$, определённые на какой-то момент времени, называются мгновенными. Поэтому их окончательное значение рекомендуется рассчитывать из ряда значений мгновенных поправок, путём осреднения. $\Delta МК$ зависит от курса и местоположения судна. На $\Delta ГК$ оказывает влияние маневрирование судна, поэтому при определении $\Delta ГК$ необходимо учитывать период затухающих колебаний гирокомпаса.

Лекция №7

«Определение скорости и расстояния в море»

Движение судна принято делить на относительное со скоростью V_o ($V_{л}$), абсолютное со скоростью V ($V_a, V_{и}$) и переносное V_c под воздействием ветра, течения или их совместном воздействии.



$$\vec{V} = \vec{V}_o + \vec{V}_c, \quad \text{где } \vec{V}_c = \vec{V}_B + \vec{V}_T. \quad (1)$$

Для измерения скорости и расстояния используются абсолютные и относительные лаги. На судах в основном используются относительные лаги, которые измеряют скорость и пройденное расстояние относительно воды с учётом ветра, но без учёта течения. Как правило, лаги имеют погрешность, называемую поправкой лага. Поправкой лага называется систематическая погрешность, выраженная в процентах и взятая с обратным знаком.

Поправкой лага называется систематическая погрешность, выраженная в процентах и взятая с обратным знаком.

$$\pm \Delta Л = \frac{S_\phi - РОЛ}{РОЛ} 100\%, \quad (2)$$

где S_ϕ – фактическое (истинное) расстояние; РОЛ – разность отсчётов лага. $РОЛ = ОЛ_{i+1} - ОЛ_i$.

$$S_x = РОЛ \left(1 + \frac{\pm \Delta Л}{100} \right) \quad \text{или} \quad S_x = РОЛ k_x, \quad \text{где } k_x = 1 + \frac{\pm \Delta Л}{100} - \text{коэффициент лага.}$$

Поправку лага и скорость судна определяют после постройки или ремонта на специальных полигонах – мерных линиях при следующих условиях: волнение не более 3 баллов, ветер до 8 м/с, глубина не менее 6 средних осадков. Поправка лага и скорость судна определяются на ППХ, СПХ, МПХ, СМПХ в грузу и в балласте. Полученные результаты заносят в таблицу маневренных элементов.

При отсутствии течения на мерной линии делается 1 пробег.

$$V_o = \left(\frac{S_\phi}{\Delta T} \right), \quad \pm \Delta Л = \frac{S_\phi - РОЛ}{РОЛ} 100\%, \quad \text{где } S_\phi \text{ и } \Delta T - \text{расстояние и время соответственно между секущими створами;}$$

При наличии постоянного течения для его исключения делается 2 пробега, т.к. на взаимно обратных курсах из формулы (1) на первом пробеге, предположим, $\vec{V}_o = \vec{V}_1 + \vec{V}_T$, тогда на втором пробеге $\vec{V}_o = \vec{V}_2 - \vec{V}_T$. Совместное решение этих двух уравнений позволяет исключить течение и определить скорость судна относительно воды.

$$V_o = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad \text{где } V_{1,2} = \left(\frac{S_\phi}{\Delta T_{1,2}} \right).$$

Соответственно определится и поправка лага: $\Delta Л = \frac{\Delta Л_1 + \Delta Л_2}{2}$, где $\Delta Л_{1,2}$ рассчитываются по формуле (2) для двух пробегов. Для контроля можно сделать 3 пробега. Тогда, если $РОЛ_1 = РОЛ_3$ или $\Delta T_1 = \Delta T_3$, то течение постоянное.

При переменном течении (приливоотливном) делается 3 пробега, т.к. на первом пробеге $\vec{V}_o = \vec{V}_1 + \vec{V}_{T1}$, на втором пробеге $\vec{V}_o = \vec{V}_2 - \vec{V}_{T2}$ и на третьем пробеге $\vec{V}_o = \vec{V}_3 + \vec{V}_{T3}$. Предположив, что на втором пробеге $\vec{V}_{T2} = \frac{\vec{V}_{T1} + \vec{V}_{T3}}{2}$ и,

подставив это выражение во второе уравнение, при совместном решении полученных трёх уравнений можно исключить течение и скорость судна определится по формуле:

$$V_o = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4}, \quad \text{где } V_{1,2,3} = \left(\frac{S_\phi}{\Delta T_{1,2,3}} \right).$$

Соответственно определится поправка лага: $\Delta Л = \frac{\Delta Л_1 + 2\Delta Л_2 + \Delta Л_3}{4}$, где $\Delta Л_{1,2,3}$ рассчитываются по формуле (2) для трёх пробегов.

Если на судне установлен винт фиксированного шага, то во время пробегов замечают скорость оборотов винта N и составляют зависимость от неё скорости судна $V_{об}$. Тогда пройденное расстояние можно определить по формуле:

$S_{об} = a\Delta N$, где a - аванс, т.е. расстояние проходимое судном относительно воды за один оборот движителя.

Рассчитывается по $V_{об}$ и соответствующей ей частоте вращения движителей N : $a = V_{об} / N$. $\Delta N = N_2 - N_1$.

В море скорость и поправка лага определяются по свободно плавающему ориентиру (для исключения течения) с помощью РЛС или с помощью высокоточных обсерваций (по спутникам) с исключением течения графически или по формулам. Для исключения накапливающихся погрешностей длина одного пробега должна составлять при скорости 10 уз. – 2,3 м.мили; 15 уз. – 3,6 м. мили; 18 уз. – 4,3 м.мили; 20 уз. – 4,9 м.мили (Н. В. Авербах, Ю. К. Баранов

Определение маневренных элементов морского судна и поправки лага). Тогда

$$V_o = \frac{D_1 - D_2}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta D}{\Delta T}, \quad \Delta L = \frac{\Delta D - POL}{POL} \cdot 100\%.$$

Задачи, решаемые при ведении счисления.

Предвычисление отсчёта лага: $ОЛ_{i+1} = ПОЛ + ОЛ_i$, где $ПОЛ = S_{л}/к.л.$

Расчёт расстояния, пройденного по лагу: $S_{л} = V_{л}\Delta T$.

Расчёт времени плавания: $T = S_{л} / V_{л}$; $\Delta T = S_{и} / V_{и}$;

Расстояние $S_{л}$ выражается в стандартных морских милях. Для перехода к морским милям, длина которых изменяется с широтой, можно пользоваться поправкой $\Delta S = ((1852/\Delta 1') - 1)100$, где $\Delta 1'$ - длина дуги меридиана, в средней широте прокладываемого отрезка. При графическом счислении расстояние измеряется напротив того места, где ведётся счисление.

Лекция №8

«Дальность видимости горизонта, предметов и огней в море»

Видимый горизонт

Линией теоретического горизонта называется малый круг $КК'$, образованный лучами зрения, касательными к поверхности воды. *Земной рефракцией* называется явление искривления зрительного луча в атмосфере Земли. *Видимым горизонтом* наблюдателя называется малый круг $ВВ'$, образованный лучами зрения с учётом земной рефракции.

$$\chi = \frac{R}{R_1} = 0,16,$$

где χ - коэффициент земной рефракции;

R – радиус Земли;

R_1 – радиус кривой $A'B$, по которой распространяются лучи зрения.

Наклоном горизонта d называется угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на видимый горизонт.

Дальностью видимого горизонта D_e называется сферический радиус $A\check{B}$ видимого горизонта. По малости величины высоты глаза наблюдателя e по сравнению с радиусом Земли можно принять $D_e \approx AB \approx A\check{B} \approx A'B$. В судовождении необходимо знать D_e и d .

Для нахождения D_e рассмотрим треугольник $AA'B$. Из геометрии известно, что угол, составленный касательной и

$$A = 90^\circ + \frac{C}{2}, \quad B = \frac{C}{2} - r$$

хордой, измеряется половиной дуги, заключённой внутри него. Тогда углы

$$\frac{D_e}{\sin\left(90^\circ + \frac{C}{2}\right)} = \frac{e}{\sin\left(\frac{C}{2} - r\right)}$$

синусов можно написать:

$$\sin\left(90^\circ + \frac{C}{2}\right) = \cos \frac{C}{2} \approx 1; \quad \sin\left(\frac{C}{2} - r\right) \approx \frac{C}{2} - r. \quad D_e = \frac{e}{\frac{C}{2} - r}$$

Т. к. углы C и r малы, то радианная мера любого угла есть отношение длины дуги, заключённой между сторонами этого угла, к радиусу этой

$$\chi = \frac{R}{R_1} = 0,16, \quad \text{будем иметь: } \frac{C}{2} = \frac{D_e}{2R}, \quad r = \frac{D_e}{2R_1} = \frac{\chi D_e}{2R}$$

дуги. С учётом этого, а также того, что

$$D_e = \frac{e}{\frac{D_e}{2R} - \chi \frac{D_e}{2R}}, \quad \text{или } D_e = \sqrt{\frac{2Re}{1 - \chi}}$$

Подставляя сюда значение $\chi = 0,16$ будем иметь $D_e = 1,09\sqrt{2Re}$. Для получения D_e в

морских милях при e , выраженной в метрах, примем $R = 3437,75$ мили. Тогда $D_e = 1,09\sqrt{\frac{2 * 3437,75e}{1852}} = 2,1\sqrt{e_m}$.

Величина наклона видимого горизонта в минутах: $d = 1,766\sqrt{e_m}$. Для расчёта D_e служит табл. 2.1 МТ-2000.

Дальность видимости огней и предметов в море

Географической (геометрической) дальностью видимости предметов D_n называется расстояние, на котором наблюдатель увидит вершину предмета над горизонтом. С учётом разрешающей способности человеческого глаза по углу γ

$$D_n = 2,1\sqrt{e} - 1,19\gamma' + \sqrt{(2,1\sqrt{e} - 1,19\gamma')^2 + 4,41(h - e)}, \quad \text{где } h - \text{высота предмета, м.}$$

Разрешающей способностью человеческого глаза по углу называется наименьший угол, на котором наблюдатель различит предмет (или два предмета раздельно). Зависит от состояния атмосферы и физиологических способностей человеческого глаза ($\gamma \approx 2'$).

При расчёте дальности видимости огней ночью $\gamma=0$. Тогда

$$D_n = 2,1(\sqrt{e} + \sqrt{h}).$$

На российских навигационных картах и в пособиях указана дальность видимости огней D_k для стандартной высоты глаза наблюдателя $e=5$ м. (На адмиралтейских $e=15$ футов). Если высота глаза наблюдателя другая, то необходимо рассчитать поправку $\Delta = 2,1\sqrt{e} - 4,7$ и прибавить её к D_k . (Для расчёта D_p служит табл. 2.3 и номограмма 2.4 МТ-2000).

$$D_n = D_k + \Delta.$$

Оптической (ночной) дальностью видимости называется дальность видимости, которая зависит от способности человеческого глаза различать предмет по яркости на некотором фоне. Зависит от силы света наблюдаемого огня. На картах и в руководствах указывается меньшая из дальностей (оптическая или геометрическая). Поэтому, прежде чем исправлять D_k поправкой за высоту глаза наблюдателя, необходимо по условиям $D_k < 2,1\sqrt{h} + 4,7$ определить, какая дальность указана на карте. Если это условие выполняется, то на карте указана оптическая дальность, и D_p поправкой за высоту глаза наблюдателя исправлять не следует. В противном случае на карте указана геометрическая дальность и следует пользоваться поправкой Δ . Если $D_k < 4,7$ мили, то D_p также не исправляют поправкой Δ .

Лекция №9

«Предмет и назначение морской лоции. Руководства и пособия для обеспечения мореплавания»

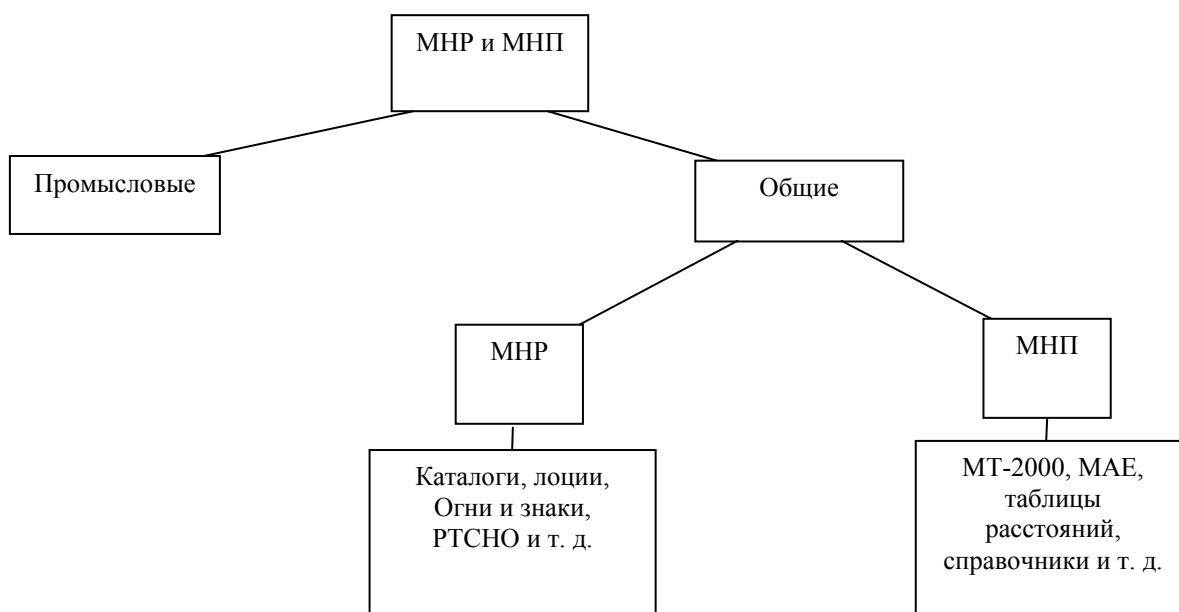
Литература: Ермолаев Г. Г. Морская лоция: Учебник для вузов морского транспорта. 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Транспорт, 1982. – 392 с.

Морская лоция – раздел судовождения, изучающий условия плавания в океанах и морях, рассматривающий системы навигационного оборудования, а также принципы использования карт и пособий для плавания и поддержания их на уровне современности.

Предметом морской лоции является установление оптимального и безопасного пути морского судна.

Морские навигационные руководства и пособия (МНР и МНП) представляют собой издания Главного управления навигации и океанографии министерства обороны РФ (ГУНиО МО РФ) и других ведомств, содержащие навигационную, гидрографическую, гидрометеорологическую, геофизическую и гидробиологическую информацию для мореплавателей по районам Мирового океана, а также правила и рекомендации по обеспечению безопасности плавания, международно-правовые сведения, необходимые для решения совместно с морскими картами задач мореплавания, использования природных ресурсов и специальных задач.

Классификация МНР и МНП



МНР – официальные издания, содержащие правила, наставления, указания, невыполнение которых возлагает на мореплавателя ответственность за возможные последствия.

МНП – официальные издания, содержащие справочную информацию.

Каталог карт и книг – это основной документ по систематизации карт, руководств и пособий для плавания в судовых условиях.

Лоция – МНР, в котором содержится информация об условиях плавания в описываемом районе. В сочетании с данными на морских навигационных картах она позволяет производить опознание на местности географических объектов и назначать безопасный курс судна.

Огни и знаки – МНР, в котором содержится информация для мореплавателей о всех штатных средствах навигационного оборудования (СНО), за исключением вех.

Радиотехнические средства навигационного оборудования (РТСНО) – МНР, в которых содержится информация о радионавигационных системах (РНС), морских радиомаяках (РМк), аэрорадиомаяках (АэроРМк), радиопеленгаторных станциях (РПС), радиолакационных маяках (РЛМк) и других РТСНО.

Каждое руководство и пособие имеет адмиралтейский номер, который состоит из 4-х цифр:

Первая цифра – вид руководства или пособия (1 – лоции, 2- Огни и знаки, 3- РТСНО, 4 - руководства и правила плавания, 5 – резерв, 6- гидрометеорологические пособия, 7 – каталоги, 8 – таблицы определения места судна по РНС, 9 – специальные пособия);

Вторая цифра – океан (1 – Северный Ледовитый, 2 – Атлантический, 3 – Индийский, 4 – Тихий);

Третья и четвёртая цифры – порядковый номер руководства или пособия на данном океане.

Пример: 1225 – лоция, относящаяся к Атлантическому океану, с порядковым номером 25; 3401 – РТСНО; 2401 – Огни и знаки; 7401 – каталог карт и книг.

Лекция №10 «Морские карты»

Литература по докладу: Рюттен М. Г. Приливы и отливы.

Географической картой называется уменьшенное обобщённое изображение земной поверхности на плоскости, полученное по определённым математическим законам.

Морская карта – это частный случай географической карты. Предназначена для обеспечения мореплавания.

Общая классификация морских карт

Морские карты делятся на навигационные морские, справочные и вспомогательные карты.

Навигационные морские карты подразделяются на: собственно навигационные морские (НМК), радионавигационные морские (РНМК), навигационно-промысловые (НПК) и карты для внутренних водных путей (КВВП).

К вспомогательным картам относятся: морская карта-сетка (МКС), бланковая морская карта (БМК), кодировочные карты (рыбопромысловые сетки, которые наносятся на НМК в виде квадратов розового света), карты для прокладки дуги большого круга (карты в гномонической проекции).

К справочным картам относятся: обзорные морские карты (ОМК), карты радиомаяков и радиостанций, карты элементов земного магнетизма, карты часовых поясов, карты гидрометеорологических элементов, карты морских грунтов, батиметрические карты, карты телеграфно-телефонных и силовых кабелей, шлюпочные карты (к комплекту прилагается палетка, параллельная линейка, циркуль-измеритель, описание пользования палеткой, карандаш, резинка)

Масштабом карты называется отношение бесконечно малого отрезка на карте к соответствующему отрезку на местности. На карте указывается главный численный масштаб по заданной параллели.

Предельной точностью масштаба называется длина отрезка на местности, соответствующая длине отрезка на карте, равном 0,2 мм. Для определения предельной точности масштаба необходимо знаменатель численного масштаба умножить на 0,2 мм.

Классификация морских навигационных карт по масштабу (см. табл.)

Геодезическая и высотная основы морских карт

Геодезическая основа морской карты представляет собой систему координат опорных пунктов, данных в единой системе геодезических координат и отнесённых к поверхности определённого референц-эллипсоида.

Высотная основа морских карт представляет собой уровенную поверхность от которой наносятся высоты объектов и морские глубины. Для высот и глубин чаще всего используются разные уровенные поверхности. Отсчётный горизонт, к которому приведены глубины, называется нулём глубин. Отсчётным пунктом единой системы высот в РФ является нуль Кронштадтского футштока (средний многолетний уровень Балтийского моря).

Высоты могут указываться относительно среднего уровня моря, а в морях с приливами относительно уровня полных сизигийных вод. Высоты несветящихся навигационных знаков указывают в виде дроби (в числителе – от урона моря, в знаменателе – высота знака).

За начало отсчёта глубин (нуль глубин) на морях без приливов в РФ принимается средний многолетний уровень моря (СМУ), на морях с приливами 50 см и более – наинизший теоретический уровень (НТУ), соответствующий наинизшему теоретическому уровню.

Нумерация российских морских карт

НМК имеют адмиралтейский номер, который состоит из пяти цифр:

первая – океан или его часть (1 – Северный Ледовитый, 2 – северная часть Атлантического океана, 3 – южная часть Атлантического океана, 4 – Индийский океан, 5 – южная часть Тихого океана, 6 – северная часть Тихого океана);
вторая – масштаб (0 – генеральные, 1, 2, 3, 4 – путевые, 5 и 6 – частные, 7 – резерв, 8 и 9 – планы);
третья – район океана или моря;
четвёртая и пятая – порядковый номер карты в данном океане или его части.
Вспомогательные и справочные карты также имеют адмиралтейский номер, который начинается с цифры 9.

Классификация морских навигационных карт по масштабу

Вид НМК и НМП	Назначение карт	Масштабы	Предельная точность масштаба, м
Генеральные	1. Для общего изучения условий плавания 2. Для навигационных расчетов 3. Для предварительной прокладки 4. Для прокладки пути судна при плавании отдельным морем в большом удалении от берегов	1:5000000	1000
		1:3500000	700
		1:3000000	600
		1:2500000	500
		1:2000000	400
Путевые	Для обеспечения ведения навигационной прокладки при плавании вдоль побережий в значительном удалении от берегов и вне его видимости	1:1500000	300
		1:1000000	200
		1:500000	100
		1:300000	60
		1:250000	50
Частные	1. Для обеспечения подхода к берегу с моря 2. Для обеспечения плавания в непосредственной близости от берега или в стесненных условиях (в узкостях, шхерах и т. д.)	1:200000	40
		1:150000	30
		1:100000	20
		1:50000	10
		1:40000	8
Навигационные Морские планы	1. Для руководства при входе в порты, гавани, бухты, на якорные места, рейды и т. д.	1:30000	6
		1:25000	5
		1:20000	4
		1:15000	3
		1:12000	2,4
	2. При перемещении, швартовке и постановке на якорь внутри акваторий, указанных в п. 1	1:10000	2
		1:7500	1,5
		1:7000	1,4
		1:6000	1,2
		1:5000	1,0
	3. Для обеспечения производства гидротехнических и дноуглубительных работ	1:4000	0,8
		1:3000	0,6
		1:2500	0,5
		1:2000	0,4
		1:1500	0,3
1:1000	0,2		
1:500	0,1		

Лекция №11 «КОРРЕКТУРА МОРСКИХ КАРТ И РУКОВОДСТВ ДЛЯ ПЛАВАНИЯ»

Литература:

1. Н. В. Авербах и др. Корректур морских карт и руководств для плавания.
2. Правила корректуры, комплектования и хранения карт и руководств для плавания на судах гражданских ведомств.

Корректурой называется систематический процесс исправления карт и руководств для плавания с целью приведения их на уровень современности.

Печатные корректурные документы:

1. Извещения мореплавателям Главного управления навигации и океанографии МО РФ (ИМ ГУНиО); Структура, ИМ ГУНиО Выпуск №1.
2. Приложения к ИМ ГУНиО;
3. Извлечения из ИМ ГУНиО ГС флотов;
4. Вклейки на карты;
5. Сводные корректуры (для контроля);
6. Дополнения к руководствам для плавания (содержат сведения об изменениях навигационной обстановки, появившихся после издания руководства);
7. Еженедельные бюллетени навигационных предупреждений.

Все ИМ, в зависимости от срока действия навигационной информации подразделяются на постоянные, временные (В) и предварительные (П).

Раз в полгода издаются нумерники ИМ (полугодовые и годовые), которые служат для контроля корректуры.

Один раз в год издаётся Перечень перечень временных и предварительных ИМ, также для контроля.

Подшивки ИМ на судне хранятся 2 года (за предшествующий и текущий год).

Электронные выпуски ИМ ГУНиО (ЭВИМ)

ЭВИМ - это точная электронная версия ИМ ГУНиО в виде компьютерного файла в формате ADOBE ACROBAT. Правомочность ЭВИМ определена в ИМ № 792 (выпуск №8 от 13.02.1999 г.).

Отметка о корректуре на картах

ИМ ГУНиО	
Дата и номер последнего просмотренного выпуска	Подпись
20.05.2000 № 20	
26.09.2000 № 34	



ИМ ГУНиО – 1998 – 16 – 277 – 1999 – 66 – 216
2000 – 13 – 47

НАВИГАЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПЕРЕДАВАЕМАЯ ПО РАДИО

В рамках ВСРПП передаются:

- Районные предупреждения НАВАРЕА (NAVAREA). Представляют собой радионавигационные предупреждения дальнего радиуса действия (охватывает свой район и 700 миль за его пределами), составленные районным координатором на свой район и переданные через мощную радиостанцию.
- Прибрежные предупреждения ПРИП (COASTAL WARNINGS). Это радионавигационные предупреждения, относящиеся к региону или части района, объявляемые координатором через береговые радиостанции.
- Местные предупреждения (LOCAL WARNINGS). Это предупреждения, предусмотренные ВСРПП, относящиеся к

району, находящемуся в пределах юрисдикции портовых властей.

Дополнительно в РФ мореплавателям передаются:

Навигационные предупреждения (НАВИП) и гидрометеорологические сообщения (МЕТЕО) на русском языке. НАВИП – это радионавигационные предупреждения на территориальные воды иностранных государств и воды открытого моря, передаваемые радиостанциями РФ. Перечень навигационной информации в НАВИП аналогичен перечню информации в НАВАРЕА и ПРИП.

Перечень радиостанций и порядок передачи ими навигационной информации приводятся в расписаниях передач навигационных и гидрометеорологических сообщений (см. Каталог карт и книг).

С 1993 г. в соответствии с Международной Конвенцией по охране человеческой жизни на море SOLAS-74 навигационная информация на морские суда дополнительно передаётся по системе NAVTEX.

НАВТЕКС (навигационный телекс) – это международная автоматизированная система передачи навигационных, метеорологических предупреждений и срочной информации в режиме узкополосного буквопечатания. Служба использует частоту 518 кГц на английском языке в системе времени UTC. Приём информации обеспечивается в радиусе до 400 миль от береговой радиостанции. Приём осуществляется в автоматическом режиме судовым приёмником. Информация выдаётся в буквенно-цифровом виде на бумажной ленте (показать). Требования Международного стандарта к НАВТЕКС приведены в изданиях ИМО:

ИМО А.525 (13), 1994;

ИМО А.706 (17), 1994;

ИМО NAVTEX Manual, 1994.

Корректурa выполненная по сообщениям, передаваемым по радио является временной. Делается простым карандашом и по мере получения печатных корректурных документов должна обновляться.

После выполнения корректуры делается отметка.

Лекция №13

Учёт циркуляции при счислении

Литература

1. Фадюшин С. Г. Учёт циркуляции при счислении: Уч.-метод. пос. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1999. 22 с.
2. Справочник по теории корабля: Том. 3. Управляемость судов/ Под ред. Войткунского Я. И.

Если на движущемся судне переложить руль на некоторый угол и удерживать его в этом положении, то оно начнет перемещаться по криволинейной траектории. Такое движение судна, а также траекторию движения его центра тяжести называют циркуляцией.

Учитывать циркуляцию требуется при плавании в стесненных навигационных условиях (вблизи берегов и в узкостях), когда прокладка ведется на картах крупного масштаба, для повышения точности графического счисления и предупреждения сближения судна с надводными и подводными опасностями. Циркуляцию необходимо учитывать также при плавании по фарватерам, при поворотах и выходах с одной линии створа на другую.

Циркуляция - сложный процесс, осуществляемый по законам гидродинамики движения судна. В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены практические приемы учета циркуляции при прокладке в форме упрощенной, но удовлетворяющей требованиям практической навигации. Некоторые способы учета циркуляции представлены в форме, модернизированной автором.

Учет циркуляции на движущемся судне затруднен и зачастую по объективным причинам не может быть реализован в том виде, в котором он предлагается в настоящей работе. Но для обеспечения безопасности мореплавания судоводитель должен знать и четко представлять себе все этапы и особенности, сопутствующие этому процессу.

Характерную особенность в поведении корабля на циркуляции довольно точно отметил адмирал С.О. Макаров. Он писал, что прежде всего следует уяснить, что руль двигает в сторону не нос, а корму корабля и что точка вращения корабля находится далеко впереди центра корабля. Эту и другие особенности движения корабля на циркуляции и должен четко уяснить себе судоводитель.

Циркуляцией называется процесс движения судна при переключке руля (или другого средства управления) из нулевого положения на некоторый угол и удержания его в этом положении. Термином циркуляция обозначается также траектория движения судна, сопутствующая этому процессу.

Различают три периода циркуляции: маневренный, эволюционный и установившийся. Маневренный период по времени совпадает с продолжительностью переключки руля. Эволюционный период начинается с момента окончания переключки руля и заканчивается, когда элементы движения судна перестанут изменяться во времени. Установившийся период начинается с момента окончания второго периода и длится все время, пока руль находится в переложённом положении. Движение судна в третьем периоде принято называть установившейся циркуляцией.

В первых двух периодах циркуляция судна представляет собой кривую переменной кривизны, в установившемся периоде - окружность. Форма циркуляции показана на рис. 1.

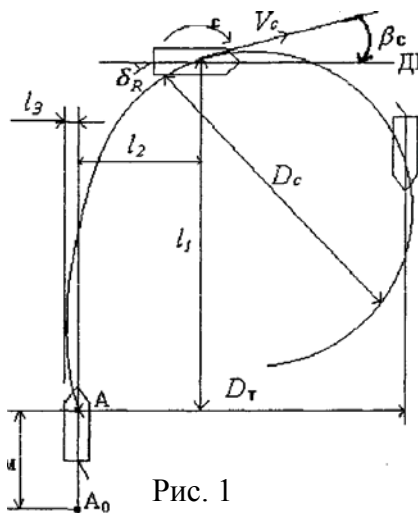


Рис. 1

Началом циркуляции является точка на линии первоначального курса A_0 , совпадающая с центром тяжести судна в момент начала перекладки руля. Для количественной характеристики циркуляции используются следующие величины:

D_T - **тактический диаметр циркуляции** - расстояние между ДП судна в начале поворота и ее положением после изменения первоначального курса судна на 180° .

D_C - **диаметр установившейся циркуляции** - диаметр окружности, по которой движется ц.т. судна на установившейся циркуляции.

l_1 - **выдвиг** - расстояние, на которое смещается центр тяжести судна в направлении первоначального курса от точки начала циркуляции до точки, с которой совпадает центр тяжести в момент изменения курса на 90° .

l_2 - **прямое смещение** - кратчайшее расстояние от линии первоначального курса судна до точки, с которой совпадает центр тяжести в момент изменения курса на 90° .

l_3 - **обратное смещение** - расстояние между линией первоначального курса и параллельной ей касательной к траектории движения в начальные периоды поворота, т.е. смещение ц.т. судна в сторону, обратную направлению поворота.

δ_R - **угол перекладки руля** - угол между ДП и пером руля.

β_c - **угол дрейфа** - угол между вектором скорости судна (касательной к траектории движения судна) и ДП.

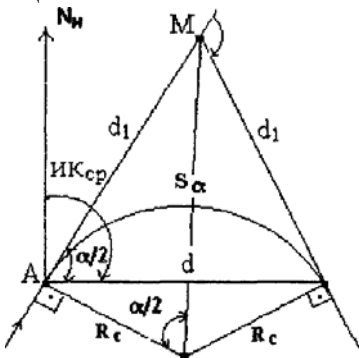
ω_c - **угловая скорость судна**.

S_m - **путь "мертвого" промежутка** - расстояние, пройденное судном между моментом подачи команды на руль (точка A_0) и моментом начала поворота (точка A).

Примечание: индекс с означает установившуюся циркуляцию.

Величины D_T , l_1 , l_2 , l_3 в долях диаметра установившейся циркуляции D_C лежат в относительно узких пределах для судов различных классов и в среднем составляют: $D_T = (0,9 \div 1,2) D_C$; $l_1 = (0,6 \div 1,2) D_C$; $l_2 = (0,5 \div 0,6) D_C$; $l_3 = (0 \div 0,1) D_C$.

При движении судна на установившейся циркуляции каждая точка по длине судна описывает окружность. Эти окружности имеют общий центр, именуемый центром циркуляции. Под характеристиками циркуляции понимаются соответствующие характеристики центра тяжести судна.



Прямая задача. Известно положение точки A начала поворота. Требуется определить положение точки B конца поворота, из которой следует проложить новый курс.

1. Рассчитывается средний курс

$$ИК_{ср} = ИК_1 \pm \alpha^\circ / 2,$$

где α° - угол поворота в градусах (знак "плюс" при повороте вправо, знак "минус" при повороте влево).

2. Рассчитывается промежуточное плавание (в кбт)

$$d = 2R_c \sin \alpha / 2,$$

Рис 2

где R_c - радиус установившейся циркуляции (выбирается из таблицы маневренных элементов).

3. Из точки A прокладывается линия $ИК_{ср}$ и по ней, от точки A , промежуточное плавание d . В результате будет получена точка B конца поворота.

4. Из точки B прокладывается линия $ИК_2$,

5. Траекторию движения судна из точки A в точку B по циркуляции можно провести в виде дуги окружности радиусом R_c , соединяющей точки A и B .

6. Рассчитывается плавание на циркуляции (расстояние поворота)

$$S_\alpha = 0,017R_c \alpha^\circ.$$

7. Рассчитывается продолжительность поворота

$$t_\alpha = \frac{T_{180}}{180} \alpha^\circ,$$

где T_{180} - полупериод циркуляции (выбрать из таблицы маневренных элементов судна).

8. Рассчитывается РОЛ между точкой А и В

$$РОЛ = S_{\alpha}/k_{л},$$

где $k_{л}$ - коэффициент лага.

9. Рассчитывается время и отсчет лага в точке В

$$T_B = T_A + t_{\alpha};$$

$$ОЛ_B = ОЛ_A + РОЛ.$$

Обратная задача. Заданы линия начального курса (ИК₁) и линия нового курса (ИК₂). Требуется определить положение точки А, в которой следует начать поворот, чтобы после циркуляции оказаться на заданной линии нового курса, и положение точки В конца поворота.

1. При заданном угле перекладки руля δ_R рассчитывается расстояние до нового курса

$$d_1 = R_c \operatorname{tg} \alpha / 2, \quad (1)$$

2. Расстояние d_1 откладывается от точки М пересечения начального и нового курсов по линиям ИК₁ и ИК₂ (см. рис 1). В результате будут получены точка начала поворота А и точка окончания поворота В.

3. Время и отчёт лага рассчитываются также как и при решении прямой задачи.

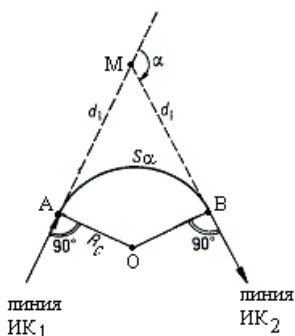


Рис.1

После расчёта элементов циркуляции при решении обеих задач (прямой и обратной) рассчитывается расстояние "мертвого" промежутка

$$S_M = V t_M,$$

где V - скорость судна перед поворотом (выбирается из таблицы маневренных элементов);

t_M - время "мертвого" промежутка (определяется экспериментально).

Команду на руль необходимо подавать, не доходя до точки начала поворота на расстояние S_M .

Если в районе плавания действует течение, элементы которого известны, то положение точки А начала поворота необходимо определить с учетом действия на судно течения. Для этого способом, изложенным выше, необходимо найти положение точки А без учета течения. Из этой точки в направлении, противоположном направлению течения, откладывается модуль вектора течения, который рассчитывается по формуле:

$$S_T = t_{\alpha} V_T,$$

где V_T - скорость течения;

t_{α} - продолжительность поворота.

Из конца вектора S_T проводится линия, параллельная новой линии пути ПУ₂, до пересечения с первоначальной линией пути ПУ₁. В результате будет получена точка начала поворота с учетом течения.

Учет циркуляции графическим способом

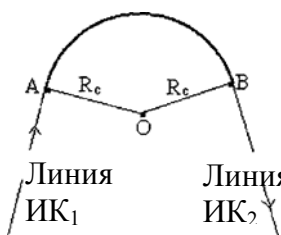


Рис. 2

При решении прямой задачи (см. рис. 2) из точки А начала поворота перпендикулярно линии первоначального курса провести в сторону поворота судна прямую, на которой отложить отрезок АО, равный радиусу циркуляции R_c . Из полученной точки О - как центра циркуляции - циркулем провести дугу окружности радиусом R_c . Линия нового курса проводится как касательная к дуге. Точка касания В будет точкой окончания поворота.

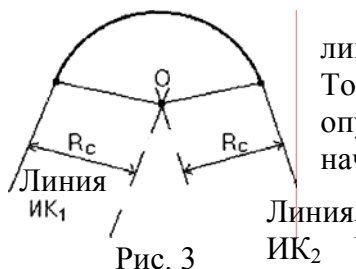


Рис. 3

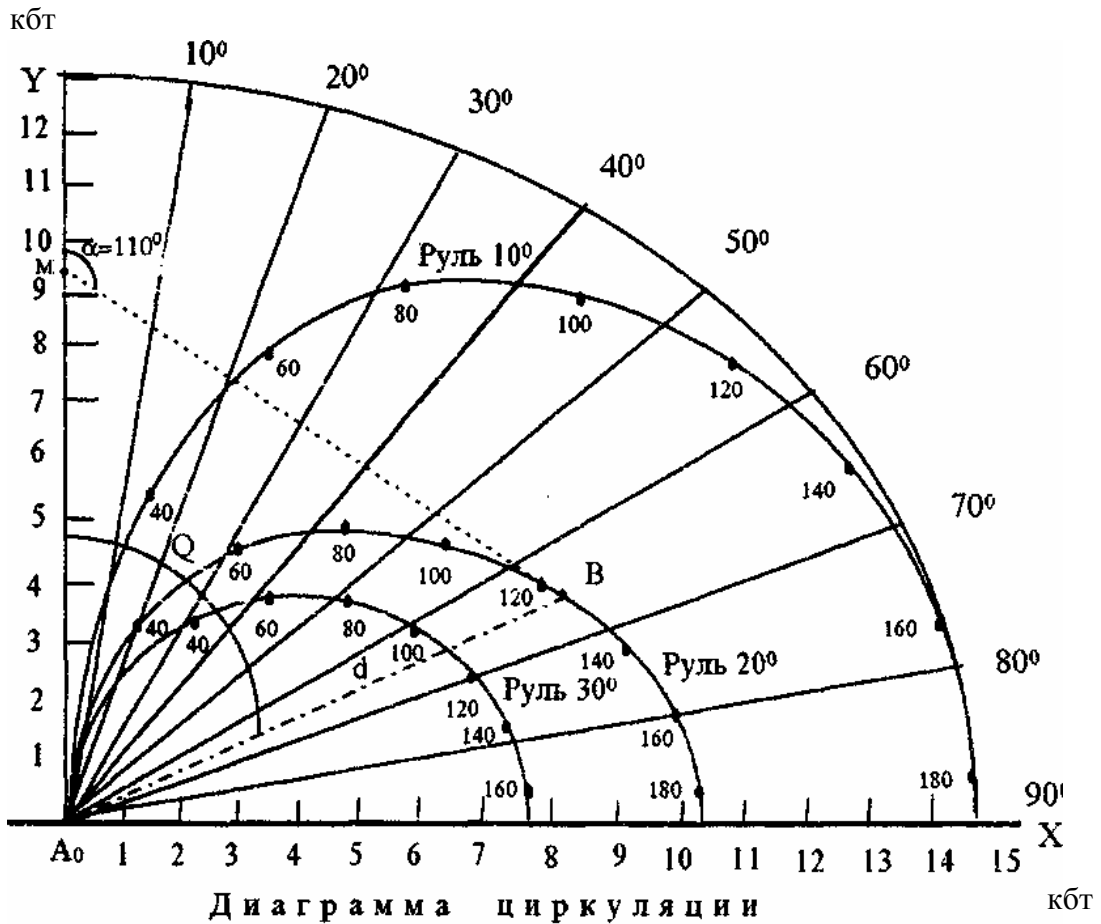
При решении обратной задачи (см. рис. 3) проводят две прямые, параллельные линиям первоначального и нового курсов и отстоящие от них на расстоянии R_c . Точка пересечения этих прямых О будет центром циркуляции, а перпендикуляры, опущенные из точки О на линии обоих курсов, определяют положение точек А и В начала и конца поворота.

При расчёте элементов циркуляции судна можно использовать МТ-2000, табл. 2.21. (с. 302)

Элементы циркуляции определяются для каждого конкретного судна с помощью высокоточных обсерваций и относительно свободноплавающего ориентира по пеленгам и дистанциям, измеренным РЛС.

Циркуляция крупнотоннажных судов, как правило, отличается от окружности. Поэтому учёт циркуляции для таких судов осуществляется с помощью экспериментальных диаграмм циркуляции.

Учёт циркуляции с помощью экспериментальных диаграмм циркуляции

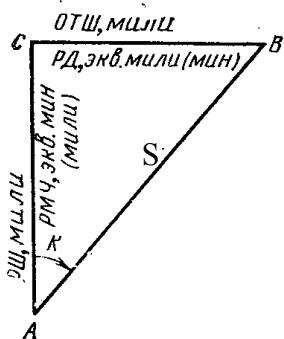


Дифференциальные уравнения криволинейного движения судна

$$\left\{ \begin{aligned} d\beta/dt + q_{21}\beta + r_{21}\bar{\omega} + s_{21}\delta_R + h_1\beta|\beta| &= 0; \\ d\bar{\omega}/dt + q_{31}\beta + r_{31}\bar{\omega} + s_{31}\delta_R &= 0. \end{aligned} \right.$$

Лекция №14

Аналитическое (письменное) счисление



Отшествием (ОТШ) называется длина отрезка параллели между меридианами пункта отхода и прихода, рассчитываемая по средней параллели и выраженная в морских милях.

$$ОТШ = S \sin K$$

$$ОТШ = РД \cos \varphi_n$$

Меридиональной частью (МЧ) называется длина меридиана от экватора до параллели заданной точки, выраженная в экваториальных милях

$$МЧ = 3437,7468 \ln \left\{ \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (\text{см. МТ-2000, табл. 2.28a}).$$

$$\begin{aligned} РМЧ &= МЧ_2 - МЧ_1 \\ РД &= РМЧ \operatorname{tg} K \end{aligned}$$

$$PД = tgK \frac{PШ}{\cos \varphi_{\Pi}} \quad PД = \frac{ОТШ}{\cos \varphi_{\Pi}} \quad PД = \lambda_2 - \lambda_1$$

где φ_{Π} - промежуточное значение широты в интервале между φ_1 φ_2

$$\varphi_{\Pi} = \arccos \frac{PШ}{PМЧ} \quad \varphi_{\Pi} \approx \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \varphi_m \text{ (на коротких расстояниях промежуточное значение широты можно}$$

принимать равным среднему значению).

Разность широт рассчитывается по формулам:

$$PШ = \varphi_2 - \varphi_1 \quad PШ = S \cos K$$

Курс судна рассчитывается по формулам:

$$tgK = \frac{PД}{PМЧ} = \frac{ОТШ}{PШ}$$

Примечание. Если нет ни ветра ни течения, то в качестве курса K принимается ИК, если есть ветер – то $ПУ_{\alpha}$. Течение учитывается отдельным курсом. Курс получается в четвертном счёте.

Плавание судна рассчитывается по формуле:

$$S = PШ \sec K$$

Аналитическое счисление принято подразделять на простое, составное и сложное.

Простое счисление

Простое аналитическое счисление выполняется, когда судно шло одним курсом. Порядок решения задачи будет следующий.

Дано: Координаты пункта отшествия φ_1 и λ_1 , K , S . Найти координаты пункта пришествия φ_2 и λ_2 .

Решение

$$1. PШ = S \cos K ; 2. ОТШ = S \sin K 3. \varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} 4. PД = \frac{ОТШ}{\cos \varphi_{\Pi}} 5. \varphi_2 = \varphi_1 + PШ \quad \lambda_2 = \lambda_1 + PД$$

Дано: Координаты пункта отшествия φ_1 и λ_1 и координаты пункта пришествия φ_2 и λ_2 . Найти K и S .

Решение

$$1. PШ = \varphi_2 - \varphi_1 \quad 2. PД = \lambda_2 - \lambda_1 3. ОТШ = PД \cos \varphi_n 4. tgK = \frac{ОТШ}{PШ} 5. S = PШ \sec K$$

Составное счисление

Составное счисление используется, когда судно совершает плавание несколькими курсами и требуется определить координаты пункта пришествия. При решении этой задачи на каждом отдельном курсе рассчитываются $PШ$ и $ОТШ$ и находится их алгебраическая сумма, которые будут называться соответственно генеральной разностью широт (Ген $PШ$ и Ген $ОТШ$)

$$ГенPШ = \sum PШ_N - \sum PШ_S \quad ГенОТШ = \sum ОТШ_E - \sum ОТШ_W$$

Дальше расчёт делается по формулам:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + ГенPШ \quad PД = \frac{ГенОТШ}{\cos \varphi_m} \quad \lambda_2 = \lambda_1 + PД$$

Сложное счисление

Сложным счислением называется такое счисление, при котором для каждого курса в точке поворота рассчитывается не только $PШ$ и $ОТШ$, но и $PД$. Алгебраическая сумма разностей долгот будет называться генеральной разностью долгот:

$$ГенPД = \sum PД_E - \sum PД_W$$

Затем рассчитываются координаты промежуточных точек.

Курс, рассчитанный по Ген $PШ$ и Ген $ОТШ$, ведущий непосредственно в точку пришествия, называется **генеральным курсом**, а расстояние по генеральному курсу между этими точками называется **генеральным плаванием**.

Метод составного (сложного) счисления позволяет вести учет постоянного и приливо-отливного течений, а также учет циркуляции. При учете течения его направление принимается за отдельный дополнительный курс, а произведение скорости течения на время его действия — за плавание. По этому отдельному курсу выбирают $PШ$ и $ОТШ$. При учете циркуляции за курс судна принимается средний курс $ИК_{ср}$, а за плавание — величина d — плавание по среднему курсу на циркуляции.

Лекция №15
«ТОЧНОСТЬ СУДОВОЖДЕНИЯ»

Международные стандарты точности судовождения

Международные стандарты точности судовождения (ИМО-83) действуют в соответствии с резолюцией А.529(13) «Стандарты точности судовождения» 13-й Ассамблеи Международной морской организации (ИМО), принятой 17 ноября 1983 г.

Международный стандарт точности судовождения (ИМО-83) определяет точность плавания для судов, следующих со скоростью не более 30 узлов, в зависимости от района плавания (табл. 1):

Таблица 1

Район плавания	Допустимая погрешность текущего места судна (с вероятностью 95 %)
1. Вход в гавань и подходы к ней, а также воды, в которых ограничена свобода маневра.	В зависимости от местных условий.
2. Другие воды.	4 % расстояния D от ближайшей опасности, но не более 4 миль.

Деление на два района не является точным и зависит от местных обстоятельств.

Навигационной опасностью считается всякий признанный или нанесенный на карту элемент либо граница, которые могут представлять или очерчивать опасность для судна, либо ограничивать район плавания.

При входе в гавань и на подходах к ней, а также в водах, в которых ограничена свобода маневра, для обеспечения навигационной безопасности плавания контроль места судна осуществляется с помощью визуальных методов наблюдения, РЛС, эхолота, специальных радионавигационных систем управления движением судов (СУДС).

Поскольку точность обсервации зависит от систематических и случайных погрешностей, она может быть охарактеризована в терминах теории вероятностей. В стандартах принято, что для характеристики точности обсервации должен использоваться 95 %-й уровень вероятности ($P = 0,95$). Эта же вероятность принята за основу при оценке точности места судна и навигационной безопасности плавания.

Отечественные нормативы точности судовождения

На основе международных стандартов разработаны отечественные нормативы точности судовождения (ИНО-89). Они введены в действие Инструкцией по навигационному оборудованию (ИНО-89).

Нормативы точности судовождения ИНО-89 разбиты по зонам плавания:

1. Зона стесненного плавания – включает в себя каналы, узкости, шхеры, акватории портов и гаваней с подходами к ним, а также устьевые участки судоходных рек. Плавание в зоне осуществляется, как правило, по строго определенным направлениям, обеспечивающим безопасный путь движения. Условия плавания в зоне отличаются ограниченной свободой маневра и требуют повышенного контроля за местоположением судна. На особо сложных участках зоны устанавливаются системы и посты управления движением судов. Применяется лоцманская проводка судов.
2. Прибрежная зона – часть моря, лежащая вдоль материкового берега, берегов архипелагов и отдельных островов, в которой возможно зрительное и радиолокационное наблюдение береговых ориентиров. Ширина прибрежной зоны принимается 30–50 миль. Плавание в зоне осуществляется в основном по рекомендованным путям или по фарватерам и только в отдельных районах допускается свободное плавание.
3. Зона открытого моря – водное пространство океанов и морей, лежащее в основном за пределами зрительной и радиолокационной наблюдаемости береговых ориентиров. Плавание в зоне открытого моря свободное или по объявленным рекомендованным путям.

В табл. 2 даны отечественные нормативы точности судовождения ИНО-89.

Зона Плавания	Допустимая средняя квадратическая погрешность определения места судна, M_d	Частота определений места судна, t_d	Допустимое время измерения и обработки навигационных параметров, мин
Зона стесненного плавания: – акватории портов, гаваней – узкие (шириной 100- 200 м) каналы и фарватеры Прибрежная зона: – фарватеры шириной 2-20 кбт – системы разделения движения	5-20 м 0,15 ширины канала, фарватера 0,2 ширины фарватера 0,2 ширины полосы одностороннего движения	Непрерывно лоцманским методом, с применением высокоточных РНС 1-5 мин 1-5 мин 10-30 мин	 0,5-1 0,5-1 1-3
– рекомендованные пути в расстоянии до 25 миль от берега – рекомендованные пути в расстоянии свыше 25 миль от берега Зона открытого моря	1-5 кбт 2 % от расстояния до берега, но не более 2 миль 2% от расстояния до опасности, но не более 2 миль	20-30 мин 1-2 ч 2-4 ч	1-3 5-10 10-15

Примечание: Приведенные в табл. 2 нормативы ИНО-89 соответствуют Резолюции ИМО А529(13) от 17 ноября 1983 г., но с вероятностью радиальной СКП 0,63 – 0,68.

ТОЧНОСТЬ ГРАФИЧЕСКОГО СЧИСЛЕНИЯ

В соответствии с резолюцией А.529(13) судоводителю необходимо знать своё место на любой момент времени. Для этого необходимы точные обсервации, а если получение таких обсерваций не может производиться непрерывно, то должен иметься метод оценки места судна между обсервациями, в качестве которого может использоваться счисление.

Возможные погрешности в значениях элементов счисления, углах сноса и дрейфа, поправках компаса и лага, а также погрешности графических построений на карте, постепенно накапливаясь, приводят к тому, что действительное место судна не совпадает с нанесенным на карту. Все погрешности можно разбить на две группы: допущенные при определении пути судна и при расчете пройденного расстояния (погрешностями графических построений пренебрегаем ввиду их малости).

На рис. 1 показано перемещение судна из точки А в точку В. Погрешности первой группы вызовут смещение на величину b погрешности второй группы — на величину a . Величины a и b вызваны средними квадратическими погрешностями (СКП) путевого угла ($m_{ПУ}$), поправки лага ($m_{\Delta l\%}$) и пройденного расстояния (m_s).

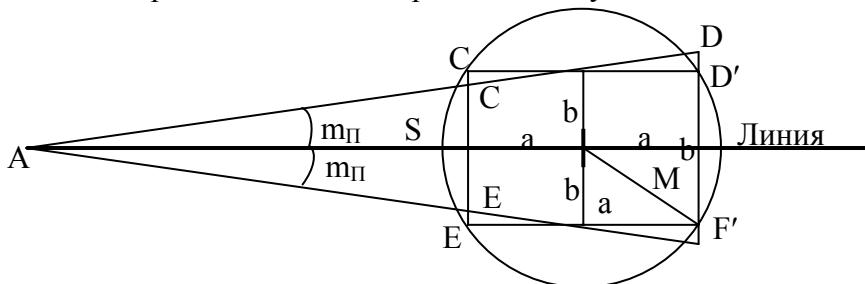


Рис.

$$b = \frac{m_{ПУ}^{\circ} S}{57,3^{\circ}}, a = \frac{S m_{\Delta l\%}}{100}.$$

Площадь возможного нахождения места судна можно охарактеризовать фигурой CDFE, эллипсом, который можно описать вокруг фигуры CDFE и окружностью с радиусом M_c , описанной вокруг прямоугольника C'D'E'F'. В практике судовождения для оценки точности места судна, как правило, используется окружность, которая характеризуется радиальной средней квадратичной погрешностью счисления (РСКП). РСКП счислимого места судна (M_c) – это радиус окружности, в пределах которой находится счисляемое место судна с определённой вероятностью. В соответствии с Резолюцией А.529(13) «Стандарты точности судовождения» должна использоваться 95% вероятность.

Таким образом, для расчёта M_c можно использовать формулу, представленную ниже в общем виде:

$$M_c = \sqrt{b^2 + a^2}. \quad (1)$$

При плавании несколькими курсами (см. рис 2) M_c в конечной точке можно рассчитать по формуле:

$$M_c = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_i^2}, \quad (2)$$

где M_1, M_2, \dots, M_i – СКП счислимого места на каждом курсе.

Расчётные формулы для вычисления M_c

Без учёта ветра и течения с вероятностью P=68%

$$M_c = \sqrt{\left(\frac{m_{\kappa}^{\circ} S}{57,3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{Sm_{\Delta t\%}}{100}\right)^2}, \quad (3)$$

где m_{κ} – СКП истинного курса (по данным гирокомпаса $m_{\kappa}=0,6 \div 1,8^{\circ}$);

$m_{\Delta t\%}$ – СКП поправки лага (см. ТТД лага);

S – расстояние, пройденное по счислению (по лагу или снятое с карты).

Для того, чтобы получить M_c с вероятностью P=95% необходимо значение M_c , полученное по формуле (3), увеличить в два раза, т. е.

$$M_{c P=95\%} = 2M_{c P=68\%}$$

С учётом ветра с вероятностью 95%

$$M_c = 2 \sqrt{\left(\frac{m_{\Pi Y \alpha}^{\circ} S}{57,3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{Sm_{\Delta t\%}}{100}\right)^2}, \quad (4)$$

где $m_{\Pi Y \alpha} = \sqrt{m_{\kappa}^2 + m_{\alpha}^2}$ (m_{α} – СКП угла дрейфа; $m_{\alpha}=0,5 \div 1,5^{\circ}$).

Течение учитывается отдельным курсом.

$$b_T = \frac{m_{K_T}^{\circ} S_T}{57,3^{\circ}}, \quad a_T = m_{v_T} t. \quad (5)$$

Тогда формула для расчёта M_c с учётом течения с вероятностью 95% будет иметь вид

$$M_c = 2 \sqrt{\left(\frac{m_{\kappa}^{\circ} S}{57,3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{Sm_{\Delta t\%}}{100}\right)^2 + \left(\frac{m_{K_T}^{\circ} S_T}{57,3^{\circ}}\right)^2 + (m_{v_T} t)^2}, \quad (6)$$

где $m_{K_T}^{\circ}$ – СКП направления течения ($m_{K_T}^{\circ}=30-60^{\circ}$);

m_{v_T} – СКП скорости течения ($m_{v_T}=0,2 \div 0,7$ уз);

t – время плавания на течении по счислению.

С учётом ветра и течения с вероятностью 95%

$$M_c = 2 \sqrt{\left(\frac{m_{\Pi Y \alpha}^{\circ} S}{57,3^{\circ}}\right)^2 + \left(\frac{Sm_{\Delta t\%}}{100}\right)^2 + \left(\frac{m_{K_T}^{\circ} S_T}{57,3^{\circ}}\right)^2 + (m_{v_T} t)^2}, \quad (7)$$

Вышеприведённые формулы расчёта M_c являются априорными и имеют методические погрешности. На больших переходах приведенные формулы расчета a и b дают завышенные результаты, так как условия плавания меняются. Поэтому их можно применять на небольших расстояниях (см. табл. 2, t_d).

Опыт мореплавания дает основание рекомендовать следующие эмпирические (статистические)

формулы для расчета a и b при плавании в открытых морях по счислению

$$a = a_{\text{сум}} \sqrt{N}; \quad b = b_{\text{сум}} \sqrt{N},$$

где $a_{\text{сум}}, b_{\text{сум}}$ – возможные смещения судна за сутки (определяются опытным путём на судне);
 N – количество суток плавания (больше единицы).

На основании многолетних наблюдений получены следующие приближенные значения M_c для нормальных условий плавания в зависимости от пройденного расстояния:

без ветра и течения $M_c = 0,02S$;

с учетом дрейфа $M_c = 0,03S$;

с учетом дрейфа и течения $M_c = 0,03 \div 0,07S$.

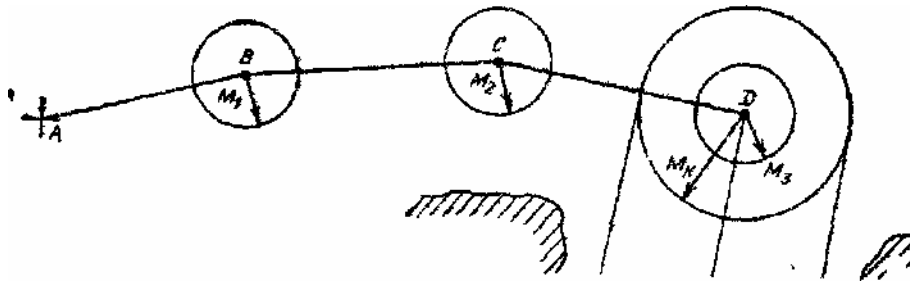
Для вычисления M_c с вероятностью 95% по вышеприведённым формулам необходимо полученные значения также увеличить в два раза.

Если в течение ряда рейсов по одному маршруту собрать данные о невязках, то можно получить эмпирическую зависимость вида

$$M_c = K_c \sqrt{t},$$

где K_c – коэффициент счисления, рассчитываемый по данным невязок по статистической формуле (см. МОС)

$$K_c = \frac{[M_c \sqrt{t}]}{[t]}$$



Рис

Если после длительного перехода по счислению требуется проход через узкость, то рекомендуется проложить три вероятных линии пути: из двух касательных точек окружности M_c и точки D (рис. 2). Такую «тройную» прокладку (плавание, с использованием параллельных индексов) вести до получения надёжной обсервации. При этом рекомендуется рассчитать предельную СКП M_c с вероятностью 99% путём увеличения M_c .

Параметры для оценки точности судовождения приведены в МТ-2000, в табл. 4.1-4.26 (с. 389).

Рекомендуемая литература

Ольховский В. Е. Навигация и промысловая навигация, 1979 г.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОБСЕРВАЦИЙ

Классификация погрешностей наблюдений

При оценке точности обсерваций, полученным по нескольким линиям положения, существенное значение имеет характер ошибок наблюдений. Все ошибки при наблюдениях подразделяются на случайные, промахи и систематические.

Случайные ошибки – это ошибки, значения которых не подчиняются каким-либо функциональным математическим зависимостям, и могут менять свою величину и знак (СКП поправки лага - $m_{\Delta t\%}$). Оцениваются средней квадратичной погрешностью. Случайные ошибки можно обнаружить путём многократного измерения одной и той же величины. Если при этом будут получаться различные результаты, то это означает наличие случайных погрешностей.

Систематические ошибки – это ошибки, величина и направление которых постоянны или изменяются по определённому закону (поправка компаса - $\Delta ГК$). Систематические ошибки нельзя обнаружить путём многократного измерения одной и той же величины, т. к. при этом все отчёты будут иметь одно и то же

значение, сдвинутое на одну и ту же величину. Основным методом исключения систематических ошибок – это введение поправок.

Прوماхи – это грубые случайные погрешности, например, в отсчёте по прибору, превышающие значение случайной предельной погрешности. Для исключения этих ошибок необходимо быть внимательным и повторять наблюдения.

Оценка точности определения места судна по двум линиям положения при влиянии случайных погрешностей.

Линия положения – это секущая или касательная (прямая линия) к изолинии вблизи счислимого места, аппроксимирующая (заменяющая) изолинию.

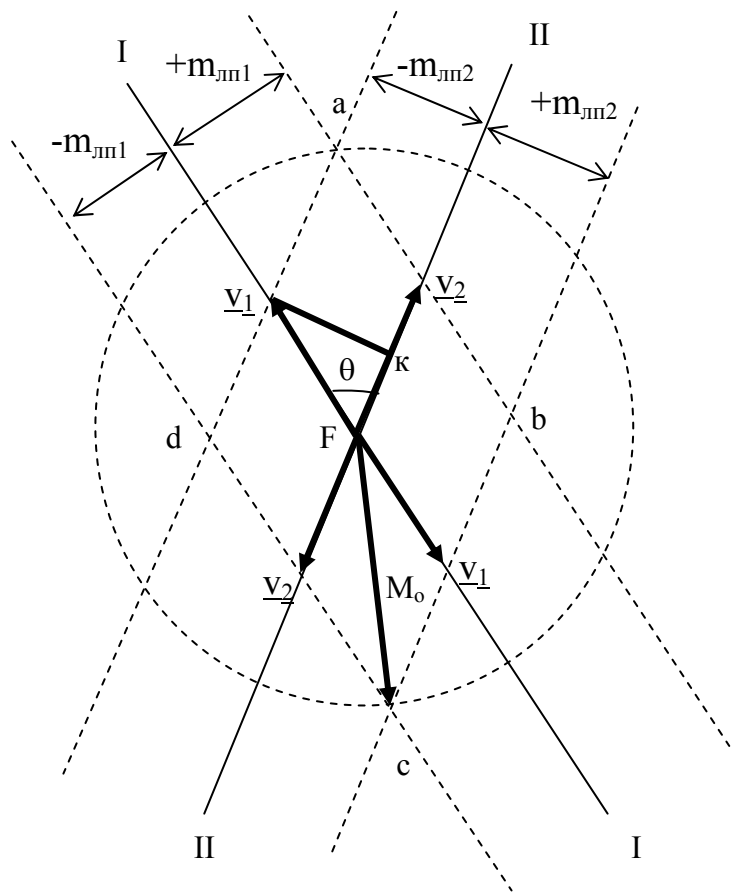


Рис. 3

На рис. 3 точка F – место судна, полученное по двум линиям положения I-I и II-II. Из-за случайных ошибок каждая линия может сместиться параллельно самой себе на величину $m_{ЛП}$. Тогда место судна будет находиться в пределах площади, ограниченной параллелограммом $abcd$. Для более достоверной (строгой) оценки полученной обсервации используется эллипс, который вписывается в параллелограмм $abcd$ (порядок построения см. в МТ-2000 на с. 540). При практических расчётах для оценки обсервованного места судна рекомендуется использовать окружность, как частный упрощённый случай эллипса. Для построения окружности достаточно определить её радиус M_o . Для этого воспользуемся линейными (векториальными) погрешностями v_1 и v_2 обсервованного места F. Воспользовавшись уравнением окружности с центром в начале координат можно записать

$$M = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}. \quad (8)$$

Найдём значение линейной погрешности v_1 . Для этого рассмотрим треугольник Fv_1K на рис.3. Из этого прямоугольного треугольника получим:

$$v_1 = \frac{m_{ЛП2}}{\sin \theta}, \quad (9)$$

где $m_{ЛП}$ – СКП линии положения;

θ - угол пересечения линий положения.

Аналогично можно получить выражение для v_2 :

$$v_2 = \frac{m_{ЛП1}}{\sin \theta}. \quad (10)$$

Подставив (9) и (10) в (8), получим РСКП обсервованного места

$$M_o = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{ЛП1}^2 + m_{ЛП2}^2}. \quad (11)$$

С учётом выражения для СКП линии положения

$$m_{ЛП} = \frac{m_u}{g},$$

где m_u – погрешность навигационного параметра (см. табл. 4.3 МТ-2000, с. 392);
 g – градиент навигационного параметра (см. табл. 5.47 МТ-2000, с. 470).

Окончательно получим

$$M_o = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{m_{u_1}}{g_1}\right)^2 + \left(\frac{m_{u_2}}{g_2}\right)^2}. \quad (12)$$

Недостаток формулы (12) заключается в том, что она не даёт представления о распределении ошибок по направлениям, но эта формула удобна при практических расчётах. Формула (12) применима для любых двух независимых линий положения. Анализ формулы (12) показывает, что полученное место будет тем точнее, чем больше будут значения градиентов, а угол пересечения линий положения ближе к 90° ($30^\circ < \theta < 150^\circ$). Приведём рабочие формулы для расчёта РСКП обсервованного места судна при обсервации основными визуальными способами.

ОМС по двум горизонтальным углам с вероятностью 95%

$$M_o = 2 \times \frac{m'_\alpha}{3438 \sin \theta} \sqrt{\left(\frac{D_a D_b}{d_{ab}}\right)^2 + \left(\frac{D_b D_c}{d_{bc}}\right)^2},$$

где m'_α - погрешность измерения горизонтального угла в минутах ($m'_\alpha = 1,1'-2,1'$);

D_a, D_b, D_c – расстояния до ориентиров, снятые с карты;

d_{ab}, d_{bc} – расстояния между 1 и 2, 2 и 3 ориентирами;

θ - угол пересечения линий положения (окружностей)

$$\theta = 360^\circ - (B + \alpha + \beta),$$

где B – угол между прямыми линиями, соединяющими ориентиры при среднем из них;

α, β - углы между ориентирами.

ОМС по двум пеленгам с вероятностью 95%

$$M_o = 2 \times \frac{m^\circ_\Pi}{57,3 \sin \theta} \sqrt{D_a^2 + D_b^2},$$

где m°_Π погрешность измерения пеленга в градусах (при измерении пеленга по гирокомпасу $m^\circ_\Pi = 0,4-1,7^\circ$);

D_a, D_b – расстояния до ориентиров, снятые с карты.

ОМС по двум расстояниям с вероятностью 95%

$$M_o = 2 \times \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{D_a}^2 + m_{D_b}^2},$$

где m_{D_a}, m_{D_b} - погрешности измерения дистанций до ориентиров (при измерении дистанции по РЛС на шкале 15-16 миль $m_D = 0,006D$).

ОМС по пеленгу и расстоянию с вероятностью 95%

$$M_o = 2 \times \sqrt{m_D^2 + \left(\frac{D m^\circ_\Pi}{57,3}\right)^2},$$

где D – расстояние до ориентира.

При определении места судна по трём линиям положения для расчёта РСКП обсервованного места можно использовать вышеприведённые формулы для расчёта РСКП обсервованного места по двум линиям положения, с уменьшением полученного результата на 20%, т. е. умножением на 0,8, т. к. третья линия положения улучшает точность обсервации примерно на 20%.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЧИСЛЕНИЯ

РСКП счислимого места ($M_{сч}$) за некоторый промежуток времени после последней обсервации, принятой за исходную для ведения счисления, можно рассчитать по формуле

$$M_{сч} = \sqrt{M_o^2 + M_c^2},$$

где M_o – РСКП обсервованного места, принятого за исходное для ведения счисления;

M_c – РСКП текущего счислимого места.

Если M_o и M_c рассчитаны с вероятностью 68%, то полученное значение необходимо увеличить в два раза для получения $M_{сч}$ с вероятностью 95%.

СВЯЗЬ МЕЖДУ СЧИСЛЕНИЕМ И ОБСЕРВАЦИЯМИ

Счисление и обсервации – это единый процесс, обеспечивающий движение судна по заданному маршруту. Нельзя пренебрегать ни счислением, ни обсервациями. Для контроля и повышения надёжности плавания необходимо осуществлять взаимный контроль обсервованных и счислимых мест судна, путём сравнения их РСКП с величиной невязки. Не следует спешить с переносом счисления в обсервованную точку, если РСКП обсервованного и счислимого мест примерно одинаковы и не превышают величины невязки.

Если

$$\frac{M_c}{M_o} > 2,$$

то счисление можно перенести в обсервованную точку.

Как правило, перенос счисления в обсервованную точку повышает точность счисления. Лучший контроль счисления – получение нескольких обсерваций, по возможности различными способами. Эти дополнительные обсервации позволяют выявить промахи и систематические ошибки.

Всё вышесказанное в этой лекции является вторичным по отношению к одному из самых важных положений навигации: «СЧИТАЙ СЕБЯ БЛИЖЕ К ОПАСНОСТИ».

Лекция №16

“ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В НАВИГАЦИИ”

Радиотехнические средства навигации, состоящие из опорных передающих станций, излучающих взаимно синхронизированные сигналы на определённых частотах и в определённом порядке, и судовых приёмоиндикаторов, называются радионавигационными системами (РНС).

Фазовая гиперболическая РНС средней дальности «Декка»

Работа РНС «Декка» основана на измерении в точке приёма разности фаз взаимосвязанных колебаний, излучаемых береговыми станциями. Эти колебания принимаются на судне специальным приёмоиндикатором, имеющим устройство для измерения разности фаз – фазометр.

Разность фаз $\Delta\Phi$ можно рассчитать по формуле

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} (D_1 - D_2), \quad (1)$$

где λ - длина волны колебаний;

D_1, D_2 – расстояния до береговых станций.

Из формулы (1) видно, что измеренной разности фаз $\Delta\Phi$ будет соответствовать разность расстояний до двух береговых станций. Разности расстояний соответствует математическая кривая – гипербола. Измерив разность фаз до двух пар станций, можно получить две гиперболы. Точка пересечения полученных гипербол будет являться обсервованным местом судна.

Таким образом, в РНС «Декка» радионавигационным параметром является разность фаз, навигационным параметром – разность расстояний, а изолинией – гипербола.

С помощью РНС «Декка» место судна определяется с высокой точностью (днём при $30^\circ < \theta < 150^\circ$ M_o с вероятностью 95% составляет 0,25-0,5 кбт и менее). Место судна определяется на расстоянии 250-300 миль. Недостатком системы является большая многозначность и ненадёжность её устранения на больших расстояниях.

Импульсно-фазовая гиперболическая РНС «Лоран-С»

Работа РНС «Лоран-С» основана на измерении в точке приёма промежутка времени между моментами прихода импульсов от ведущей и ведомой станций и разности фаз колебаний. Импульсный метод используется для устранения многозначности, а фазовый - для определения места судна с высокой точностью.

Навигационным параметром является разность расстояний до двух береговых станций. Изолинией – гипербола.

Место судна определяется на расстоянии до 1400 миль. Погрешность определения места судна $80 \div 300$ м.

ОМС по навигационным искусственным спутникам Земли (ИСЗ)

Навигационный искусственный спутник Земли можно представить как навигационный ориентир, поднятый на высоту нескольких тысяч километров над поверхностью Земли и движущийся вокруг неё по заранее рассчитанной орбите. В настоящее время действуют СРНС НАВСТАР (GPS) и ГЛОНАСС.

Для ОМС по ИСЗ применяется дальномерный метод. В этом методе навигационным параметром является

наклонная (топоцентрическая) дальность ρ до спутника.

$$\rho = ct,$$

где c – скорость света;

t – время распространения сигнала от спутника до приёмника.

Ей соответствует изоповерхность в виде сферы с центром, совпадающим с ИСЗ, и радиусом, равным измеренной дальности. При пересечении сферической изоповерхности с поверхностью Земли образуется изолиния – окружность со сферическим радиусом. Место судна получается в точке пересечения таких изолиний от нескольких (3-4) спутников.

Для высокоточного определения места судна по СРНС НАВСТАР используется дифференциальный метод (DGPS). Этот метод заключается в том, что на специальных контрольных станциях (обычно на маяках), координаты которых определяются с высокой точностью методами геодезии и превышают по точности координаты по СРНС, устанавливаются приёмники СРНС. Сравнение координат, полученных по СРНС с геодезическими координатами, позволяет получить дифференциальные поправки к координатам или радионавигационным параметрам, которые по каналам наземной или спутниковой связи ИНМАРСАТ передаются на суда, находящиеся в дифференциальном районе, т.е. в радиусе действия контрольных станций (около 600 миль). DGPS позволяет определять координаты судна с точностью $M_0 = 3-5$ м с $P=68\%$ (см. МТ-2000, табл. 4.3, с. 394).

Точность определения места судна по трём ИСЗ рассчитывается по формуле

$$M_0 = m_\rho \Gamma,$$

где m_ρ - средняя квадратичная погрешность определения расстояния;

Γ - геометрический фактор (GDOP или HDOP).

M_0 вычисляется автоматически, при этом оптимальное значение Γ может задаваться штурманом. Для точных наблюдений Γ должен находиться в пределах $1,5 < \Gamma < 5$.

В СРНС НАВСТАР применяется референц-эллипсоид WGS-84, поэтому при использовании навигационных карт с другой геодезической основой необходимо при определении места судна по ИСЗ использовать поправки, указанные непосредственно на карте или в МТ-2000, табл. 2.24, с. 306.

Использование радиолокационной станции для определения места судна

Судовая радиолокационная станция (РЛС) предназначена для обнаружения надводных объектов и берега в условиях плохой видимости; определения места судна; обеспечения плавания в узкостях; предупреждения столкновения судов. В основе работы РЛС лежит явление отражения радиоволн от объектов.

Максимальная дальность действия РЛС определяется дальностью радиолокационного горизонта D_p , которая вычисляется для стандартных условий атмосферы по формуле

$$D_p \approx 2,39\sqrt{h_a}, \quad (2)$$

Где h_a – действующая высота антенны, м.

По формуле (2) составлена табл. 2.2 МТ-2000, с. 255.

Дальность обнаружения отдельных объектов с помощью РЛС может быть определена по формуле

$$D_{po} = 2,39(\sqrt{h_a} + \sqrt{h}), \quad (3)$$

где h – высота объекта.

Среднестатистические дальности радиолокационного обнаружения объектов приведены в табл. 2.6а МТ-2000, с. 259.

Также необходимо помнить, что дальность радиолокационного горизонта примерно на 15% больше дальности видимого горизонта.

Минимальная дальность действия современных РЛС зависит от мёртвой зоны и лежит в пределах 30÷90м.

РЛС даёт возможность получить два вида навигационных параметров – расстояние и пеленг. Поэтому все способы определения места судна с помощью РЛС сводятся к комбинации этих двух параметров. При стабилизации изображения по норду с азимутального круга индикатора РЛС снимается гирокомпасный пеленг (РЛП)

$$\text{ИП} = \text{РЛП} + (\pm \Delta \text{ГК}).$$

Когда изображение стабилизировано по курсу с азимутального круга снимается радиолокационный курсовой угол (РЛКУ)

$$\text{ИП} = \text{ГКК} + (\pm \Delta \text{ГК}) + \text{РЛКУ}.$$

В современных РЛС $\Delta \text{ГК}$ может учитываться автоматически.

При использовании РЛС необходимо удостовериться, что курсовая черта совпадает с ДП, что достигается соответствующей установкой антенны РЛС.

Погрешность пеленгования уменьшается с удалением отметки объекта от центра экрана и определяется величиной: для механического визира $m_{рлт} = 0,9-2,3^\circ$; для электронного визира $m_{рлт} = 0,6-1,7^\circ$.

На малых расстояниях (до 0,5 мили) линия пеленга не уступает по точности радиолокационному расстоянию. С увеличением расстояния до ориентира, линия положения, полученная по расстоянию, будет более точна, чем линия пеленга.

При ручном измерении дистанции с помощью РЛС погрешность m_D будет составлять $0,005D-0,012D$, а при автоматическом – 20-80 м, в зависимости от используемой шкалы дальности.

Если в пространстве облучения антенны РЛС имеются затеняющие предметы (труба, мачты, связанные антенны и т. п.), то отсчеты РЛП объектов, взятые в направлении на эти предметы, могут содержать систематические погрешности $f_{рлс}$, называемые радиолокационной девиацией. Причиной ее возникновения является искажение электромагнитного поля сигнала, отраженного от объекта, полем, создаваемым на судне вторичными излучателями. $f_{рлс}$ может быть найдена экспериментально по аналогии с определением девиации магнитного компаса и учтена как поправка при расчете ИП.

Для определения радиолокационной девиации 2 наблюдателя одновременно должны измерять визуально КУ по азимутальному кругу компаса на объект наблюдения и РЛКУ по азимутальному кругу индикатора РЛС. По результатам наблюдений радиолокационная девиация рассчитывается по формуле

$$f_{рлс} = КУ - РЛКУ.$$

Затем составляется таблица и вычерчивается график радиолокационной девиации. Так как при неблагоприятном расположении антенны РЛС радиолокационная девиация может достигать значительной величины ($2-3^\circ$ и более), то для точного определения радиолокационных пеленгов ее учет необходим. Поэтому она должна определяться при первоначальной установке РЛС судна и в случаях изменений в установке такелажа, антенн и т. п.