



Раздел 11 «Определение места судна с помощью радиотехнических средств»

Лекция № (11.2)

Тема: «Понятие об азимутальных радиотехнических средствах. Ортодромическая поправка. Дальномерные радиотехнические системы» .

Учебная дисциплина «Навигация и лоция»

**Калининград
2022**

**Доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания,
кандидат военных наук, доцент Щавелев В.П.**

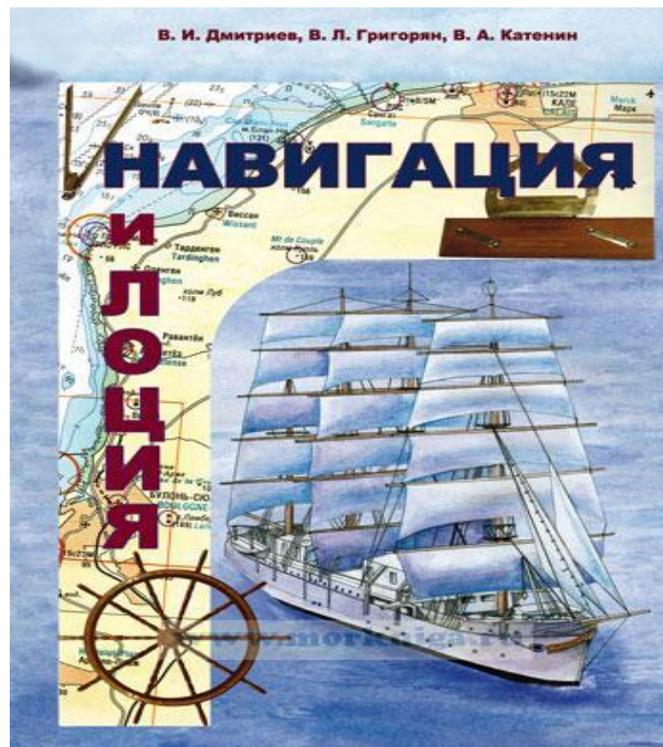


Цель лекции:

- формирование конвенционных компетентностей в части, касающейся использования азимутальных радиотехнических средств для определения места судна.

Учебные вопросы лекции:

1. Понятие об азимутальных радиотехнических средствах.
2. Ортодромическая поправка.
3. Дальномерные радиотехнические системы.



Основная:

1. Дмитриев В.И., Рассукованый Л. С. Навигация и лоция, навигационная гидрометеорология, электронная картография (+CD). Учебник. – Москва: МОРКНИГА, 2018 . – 312 с. - ISBN: 978-5-030033-52-5.

2. Дмитриев В.И., Григорян В.Л., Катенин В.А. Навигация и лоция. Учебник для вузов (3-е издание переработанное и дополненное)/Под общ. Ред. д.ф.т.н., проф. В.И. Дектярева. – М.: «МОРКНИГА», 2009. – 458 с.: ил.



1. Понятие об азимутальных радиотехнических средствах.



В настоящее время в морском судоходстве широко используются **шесть основных типов РНС:**

- фазовая РНС на длинных волнах («Декка-Навигатор»);
- фазовая РНС на сверхдлинных волнах («Омега»);
- импульсно-фазовые РНС (РСДН, «Лоран-С» и др.);
- низкоорбитальные спутниковые РНС;
- системы радиопеленгования (радиомаяки с радиопеленгаторами);
- секторные радиомаяки.

Два типа РНС радиомаяки и секторные радиомаяки являются амплитудными и позволяют измерять радионавигационный параметр (РНП) в виде азимутов (углов), **остальные РНС** - в виде разностей расстояний до двух станций цепочки или нескольких последовательных положений спутника на орбите.

Точность определения местоположения по РНС зависит от:

- взаимного расположения судна и береговых станций цепи (геометрического фактора);
- погрешностей показаний индикатора (влияние условий распространения радиоволн, устойчивости шкалы времени).



В настоящее время азимутальные РНС реализованы в **виде радиомаячных систем**, использующих в принципе своей работы направленный радиоприем.

Состав **радиомаячных систем**:

- радиомаяк кругового радиоизлучения, расположенный на берегу;
- радиопеленгатор, фиксирующий направление приема радиоволн, расположенный на судне.

Радиомаяки кругового излучения, сокращенно, **круговые радиомаяки (РМк)**, представляют собой **передающие радиостанции**:

- работают на объявленных радиочастотах;
- установлены в опорных радионавигационных точках.

РМк :

- обладают ненаправленной характеристикой излучения;
- состав передаваемого им сигнала:
 - **опознавательный сигнал**;
 - **продолжительный сигнал для радиопеленгования**.



Для обеспечения мореплавания РМк объединяются **в группы**, внутри которых они работают поочередно на одной и той же частоте. Допускается объединение в одну группу до 6 РМк. **Время работы каждого радиомаяка составляет 1 мин, поэтому полный цикл излучения группы составляет 6 мин.**

В руководстве "Радиотехнические средства навигационного оборудования" (РТСНО) указываются:

- координаты круговых радиомаяков;
- класс излучения; - рабочая частота;
- частота модуляции (если это предусмотрено классом излучения);
- опознавательный сигнал; - время работы;
- дальность действия либо мощность излучения сигнала.

Для радиомаяков, **работающих по запросу**, указывается также порядок и адрес подачи запроса для включения.

Радиомаяки кругового излучения по дальности действия разделяются на радиомаяки:

- дальнего действия (свыше 100 миль);
- ближнего действия (до 100 миль).

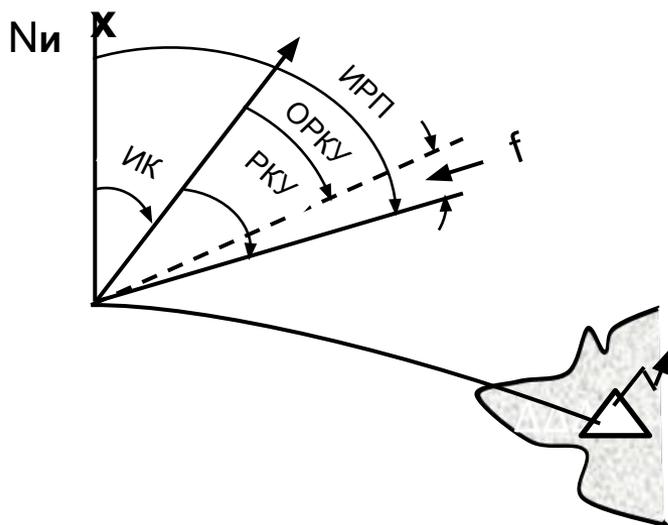
К последним также относятся автоматические маломощные радиомаяки, называемые **маркерами**.



Судовой радиопеленгатор - радиоприемные устройства с антеннами направленного действия, позволяющие определять направления с судна на радиомаяки по излучаемым ими электромагнитным колебаниям.

На судах морского флота до недавнего времени применяли **радиоопеленгаторы двух типов:**

- со слуховым приемом (по минимальному уровню звукового сигнала используемого радиомаяка в оконечном устройстве);
- автоматические визуальные (со следящей искательной катушкой гониометра или вращающейся рамочной антенной).



Оба типа радиопеленгаторов позволяют определить **угол между диаметральной плоскостью судна и направлением распространения радиоволн от радиомаяка**, который называется **радиокурсовым углом (ПКУ)** (рис. 1).

Рисунок 1 – Определение направлений при радиопеленговании



Однако **радиопеленгатор**, как и магнитный компас, **из-за влияния на него электромагнитных полей**, индуцируемых токами высокой частоты в корпусе и др. металлических конструкциях судна, **подвержен девиации и дает искаженное значение направления на радиомаяк**. Поэтому **отсчет радиокурсового угла (ОРКУ)**, полученный непосредственно с лимба радиопеленгатора, **нужно исправить поправкой**.

Радиодевиация - **отклонение направления приходящей радиоволны под влиянием судовых полей вторичного излучения**, измеряется углом f .

$$PKU = OPKU + f$$

PKU отсчитывается от носовой части диаметральной плоскости судна по часовой стрелке от 0 до 360°.

Направление распространения радиоволн совпадает с дугой большого круга (**ортодромией**) - кратчайшим расстоянием между двумя точками на земном шаре. **Ортодромия на меркаторской карте изображается кривой линией, обращенной выпуклостью к ближайшему полюсу**.

Ортодромия служит навигационной изолинией обратного пеленга - с радиомаяка на судно.

Зная истинный курс судна в момент пеленгования, можно рассчитать пеленг на радиомаяк.



Угол между нордовой частью истинного меридиана и направлением распространения радиоволн называют истинным радиопеленгом (*ИРП*).

Он отсчитывается от 0 до 360° по часовой стрелке. Из рис. 1 видно, что:

$$ИРП = ИК + РКУ \quad (1)$$

$$\text{или } ИРП = КК + \Delta ГК + ОРКУ + f. \quad (2)$$

Найденный таким образом *ИРП* будет ортодромическим пеленгом (*Орт РП*), так как он определяет направление дуги большого круга.

Современные радиопеленгаторы имеют встроенный репитер гирокомпаса, позволяющий непосредственно определить отсчет радиопеленга (*ОРП*).

В этом случае *Орт РП* определяют по формуле:

$$ОртРП = ОРП + \Delta ГК + f \quad (3)$$

Радиодевиация переменна по величине и знаку, ее величина зависит от:

- радиокурсового угла, под которым радиоволна приходит на судно;
- длины радиоволны, излучаемой радиомаяком.

Уменьшение («уничтожение») радиодевиации производится с помощью специального компенсационного устройства радиопеленгатора.

Однако полностью "уничтожить" радиодевиацию не представляется возможным.



Остаточная радиодевиация определяется:

- на нескольких длинах радиоволн путем сравнения визуально измеренных курсовых углов на радиомаяк $KУ$ со снятыми в то же время радиокурсовыми углами $ОРКУ$:

$$f = KY - ОРКУ \quad (4)$$

По результатам измерений составляются таблица и график радиодевиации, аргументом для входа в которые служит отсчет радиокурсового угла ($ОРКУ$).

Навигационной изолинией при радиопеленговании с судна является **изоазимута** - геометрическое место вершин равных сферических углов между истинным меридианом и направлением ортодромии, проходящей через место радиомаяка P .

Изоазимута на карте в меркаторской проекции изображается сложной кривой, что существенно затрудняет ее прокладку. Поэтому вместо нее на карте прокладывается **линия локсодромического пеленга**, который отличается от ортодромического пеленга на величину ортодромической поправки u (рис. 2) и представляет собой прямую линию.



Локсодромический пеленг для прокладки на навигационной карте рассчитывается либо по отсчету радиокурсового угла (**ОРКУ**), либо по отсчету радиопеленга (**ОРП**)

В зависимости от того, что измерено расчеты производятся по формулам:

$$\text{Лок П} = \text{ОРКУ} + f + \text{ГКК} + \Delta\text{ГК} + \psi = \text{Орт РП} + \psi$$

$$\text{Лок П} = \text{ОРП} + f + \Delta\text{ГК} + \psi = \text{Орт РП} + \psi$$

где f - радиодевиация;

ГКК – компасный курс по гирокомпасу в момент измерения ОРКУ;

$\Delta\text{ГК}$ - поправка гирокомпаса;

ψ = ортодромическая поправка;

Орт РП – ортодромический пеленг – угол между северной частью истинного меридиана и направлением дуги большого круга, по которой распространяется фронт радиоволны от радиомаяка до судна.

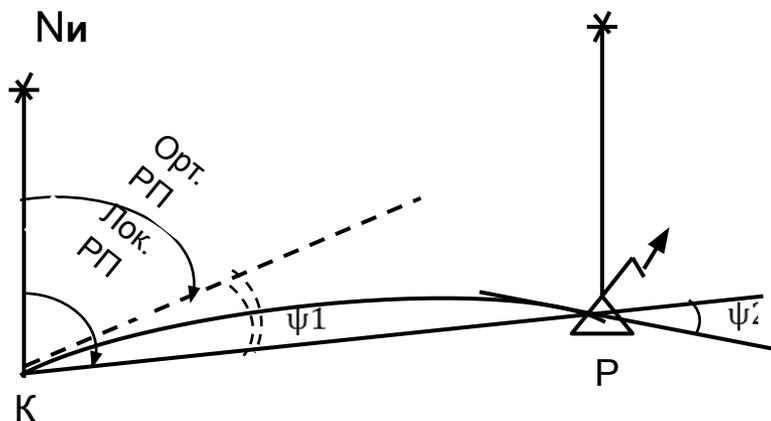


Рисунок 2 – Прокладка линии локсодромического пеленга

В последнее время радиомаяки выводятся из эксплуатации, а их инфраструктура находит применение в реализации дифференциального метода определения места судна по среднеорбитным спутниковым навигационным системам.

В новых требованиях Международной морской организации (ИМО) отсутствует необходимость **устанавливать на суда радиопеленгатор.**

В соответствии с рекомендациями ИМО морские радиомаяки стали использоваться для передачи на суда дифференциальных поправок по сигналам, принимаемым от спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС и NAVSTAR). При этом используется радиомаячный диапазон частот.

Дифференциальный метод измерений (DGPS) позволяет добиться точного позиционирования в реальном времени и обеспечивает субметровую точность при любой погоде, в любое время суток и в любом месте.



Секторный радиомаяк представляет собой передающую радиостанцию с системой из трех разнесенных антенн, создающих в окружающем пространстве секторную вращающуюся диаграмму направленности излучения. Кроме секторов, в которых слышны сигналы в виде точек и тире, диаграмма также образует веер равносигнальных зон, в направлении которых слышен непрерывный тональный сигнал.

Так как границы секторов и количество передаваемых знаков фиксированы, то количество прослушанных знаков до и после прохождения равносигнальной зоны зависит от направления с радиомаяка на судно.

Для этой цели применяются **радионавигационные карты** с литерами «РА» или пеленги определяются с помощью таблиц, публикуемых в описаниях радиотехнических средств навигационного оборудования (РТСНО) соответствующих морских районов.



2. Ортодромическая поправка.

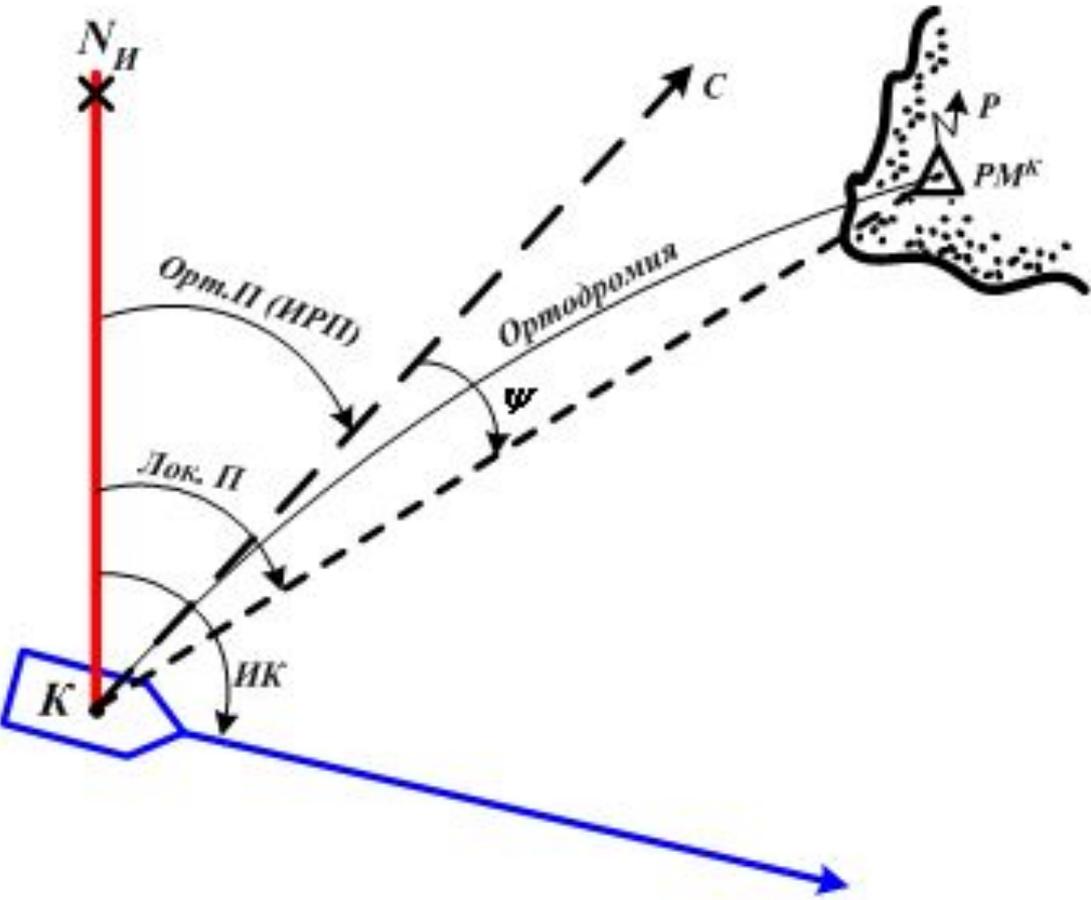


Рисунок 3 – Ортодромическая поправка

Для прокладки радиопеленгов на морской карте в проекции Меркатора возникает необходимость перехода от ортодромических к локсодромическим пеленгам, которые изображаются на такой карте прямыми линиями. Этот переход осуществляется с помощью, так называемой **ортодромической поправки** (рис. 2).

Судно, находясь в т. *K* сняли отсчет радиопеленга на КРМК (т. *P*), расположенный на берегу.



ЭМВ КРМКа, распространяясь кратчайшим путем (по ортодромии), придет на судно (в т. К) по направлению СК, которое определяется углом СКНи, равным *Орт. П (ИРП)*.

Если этот пеленг проложить на меркаторской карте, то он не пройдет через место КРМК а (т. Р).

Чтобы прямая линия *Орт. П (ИРП)*, проложенная на меркаторской карте, проходила через точки Р и К, необходимо *Орт. П (ИРП)* перевести в локсодромический пеленг (*Лок. П*), изменив направление *Орт. П (ИРП)* на угол СКР, то есть

$$\text{Лок П} = \text{Орт П (ИРП)} + \psi$$

Ортодромическая поправка (ψ – «пси») – разность между направлениями ортодромического и локсодромического пеленгов в данной точке (т. К).

Величина ψ рассчитывается по приближенной формуле:

$$\psi = \frac{1}{2} \text{РД} \sin \varphi_m$$

где РД – разность долгот места КРМКа и счислимого места судна;

φ_m – средняя широта тех же точек.

Ортодромическая поправка является поправкой за кривизну изображения дуги большого круга на карте меркаторской проекции

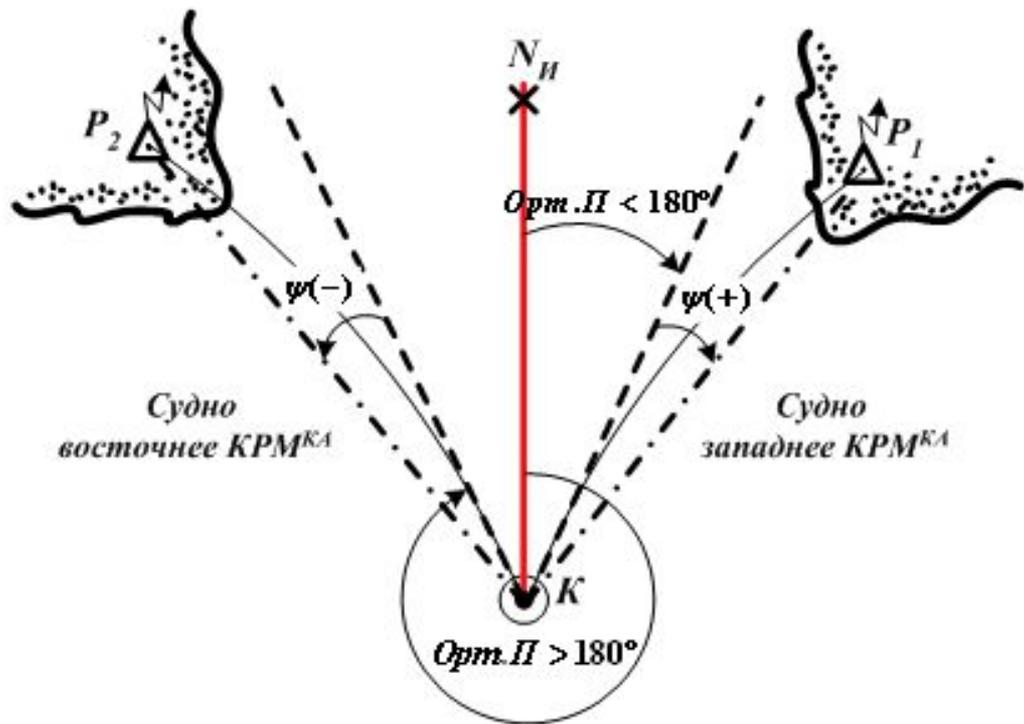


Рисунок 4 – Правило определения знака ортодромической поправки

Для южного полушария наоборот:

- при $Орт. П (ИРП) < 180^\circ$ – « $-\psi$ »;
- при $Орт. П (ИРП) > 180^\circ$ – « $+\psi$ ».

Ортодромическую поправку (ψ) следует учитывать во всех случаях, когда ее величина больше значений случайных погрешностей прокладки ($> \pm 0,2^\circ$).

Знак ψ зависит от взаимного расположения судна и $КРМ^{КА}$ и определяется для северного полушария по правилу (рис. 3):

- если $Орт. П (ИРП) < 180^\circ$ (судно западнее $КРМ^{КА}$), то **знак ψ положительный («+»** – для $КРМ^{КА}$ в т. P_1 ;
- если $Орт. П (ИРП) > 180^\circ$ (судно восточнее $КРМ^{КА}$), то **знак ψ отрицательный («-»** – для $КРМ^{КА}$ в т. P_2 .



3. Дальномерные радиотехнические СИСТЕМЫ.



В соответствии с видом используемого навигационного параметра (видом создаваемых изолиний в зоне действия системы) существующие РНС делят на:

- дальномерные;
- разностно-дальномерные;
- радиально-скоростные системы.

Возможно использование комбинаций этих методов.

Дальномерный способ определения места судна в морской радионавигации основан на измерении минимум двух дальностей D_i ($i = 1, 2$) до двух навигационных ориентиров K_1 и K_2 , имеющих географические координаты соответственно j_1, l_1 и j_2, l_2 (рис. 5).

Изолинии при дальномерном способе являются окружностями и задача определения местоположения судна сводится к решению двух нелинейных уравнений:

$$\cos D_1 = \sin \varphi_1 \sin \varphi_0 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_0 \cos (\lambda_1 - \lambda_0)$$

$$\cos D_2 = \sin \varphi_2 \sin \varphi_0 + \cos \varphi_2 \cos \varphi_0 \cos (\lambda_2 - \lambda_0)$$

относительно неизвестных координат j_0, l_0 точки X расположения бортового ПИ.

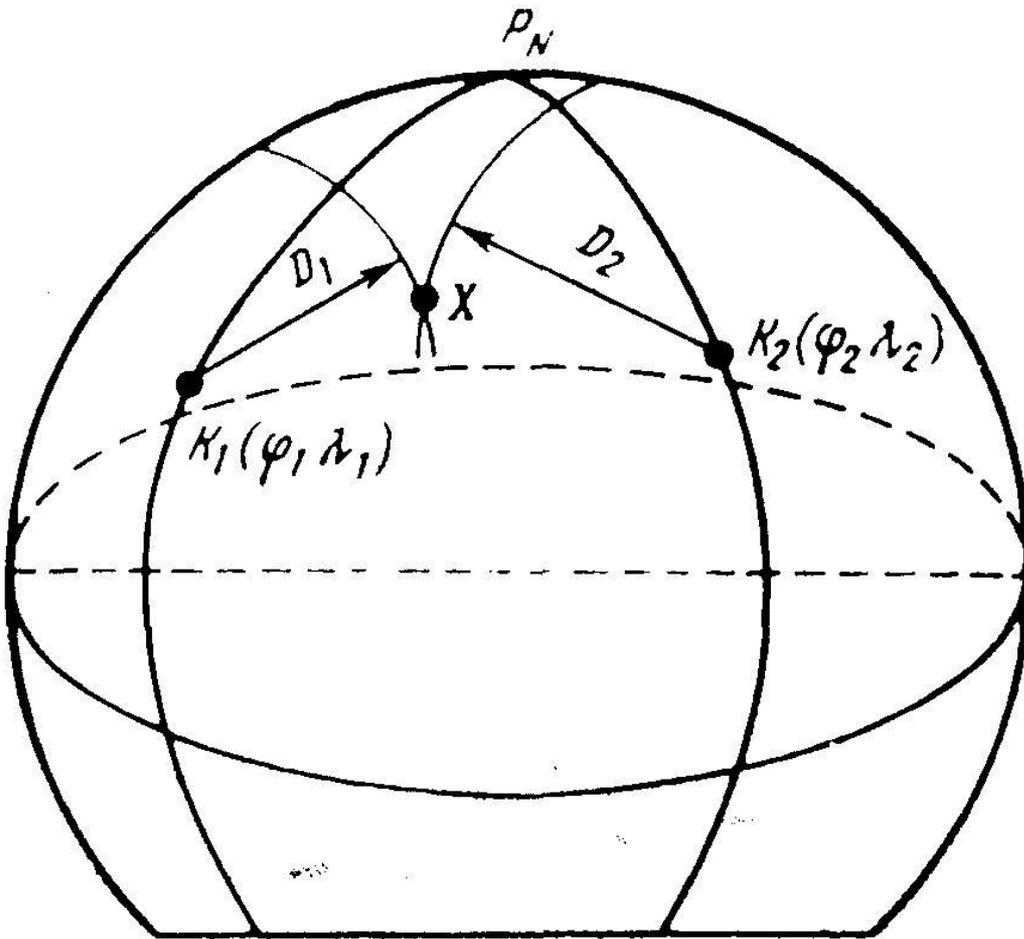


Рисунок 5 – Дальномерный способ определения места судна

При использовании спутниковых навигационных систем, в которых НО - спутник, который перемещается в пространстве, можно использовать один и тот же НО для определения места судна, измеряя дистанции D_i ($i=1, 2$) до него в два последовательных момента времени t_i ($i=1, 2$).

Техническая реализация получения НП в дальномерной системе при беззапросном варианте ее построения, не предусматривающем излучения сигналов запроса потребителями навигационной информации, может быть пояснена следующим образом (рис. 6).



Шкала
времени НО

Шкала времени
бортового ПИ

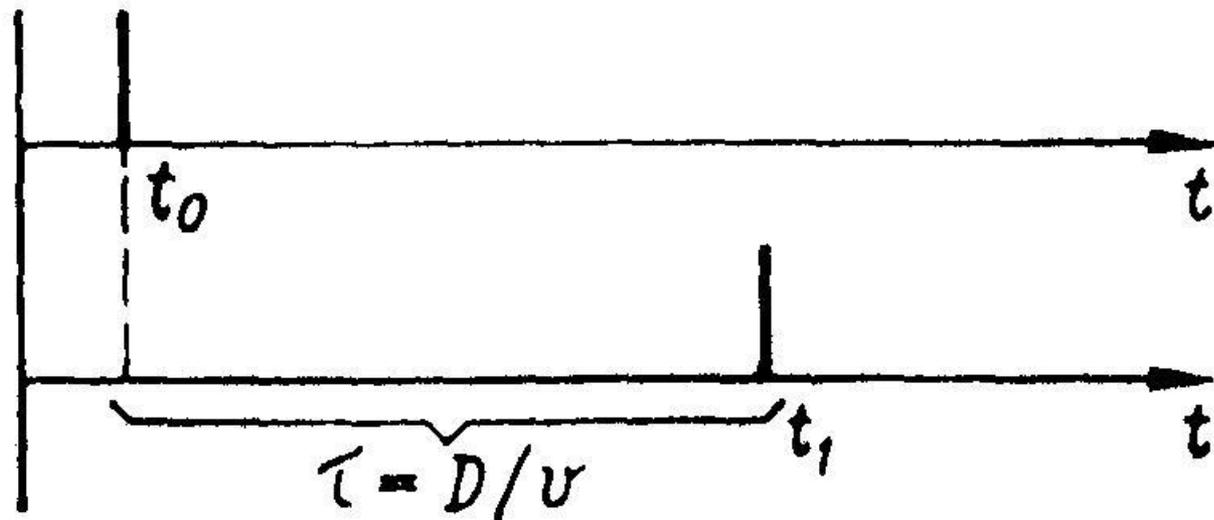
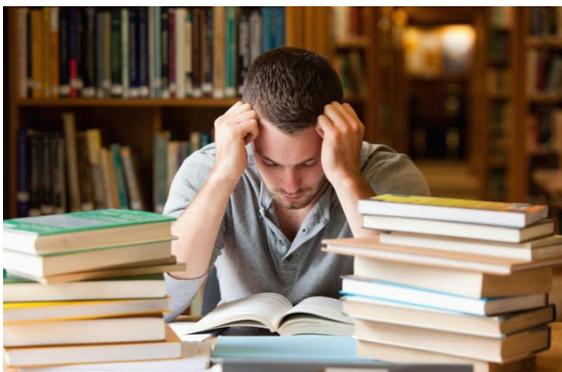
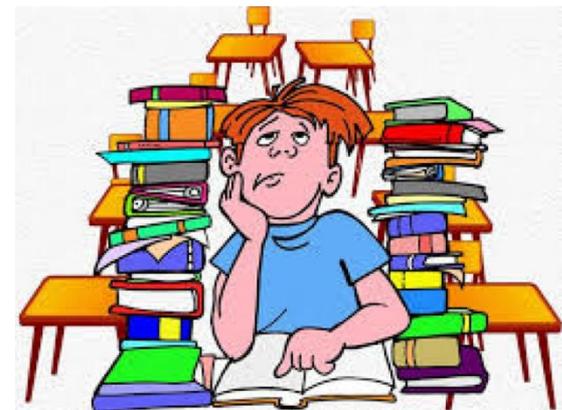


Рисунок 6 – К принципу измерения навигационного параметра дальномерной РНС

Пусть в момент t_0 НО излучил импульсный сигнал. Этот сигнал будет принят в точке расположения бортового ПИ с запаздыванием относительно момента излучения, равным $\tau = D/v$, где v - скорость распространения радиоволн, которая предполагается известной. Очевидно, что для того, чтобы определить НП - дальность D в рассматриваемом случае, необходимо не только зафиксировать момент t_1 прихода сигнала в точку расположения бортового ПИ, но и знать момент t_0 излучения сигнала НО, что предполагает, в частности, хранение в бортовом ПИ шкалы времени НО.



Практически в бортовых ПИ шкала времени НО восстанавливается за счет использования высокостабильных опорных генераторов – стандартов частоты колебаний. Так, например, для обеспечения точности измерения дальности не хуже 10 м допустимое относительное расхождение частот опорных генераторов ПИ и НО при существующей периодичности заходов судов в порты (интервалах между коррекциями временных шкал) должно лежать в пределах 10^{-14} – 10^{-15} , достижение которого – достаточно сложная техническая задача.



1. Изучить материал лекции и законспектировать.
2. Контрольные вопросы:
 1. Типы РНС используемые в настоящее время в морском судоходстве.
 2. От чего зависит точность определения местоположения по РНС.
 3. Состав радиомаячных систем.
 4. Классификация радиомаяков кругового излучения по дальности действия.
 5. Определение «круговые радиомаяки (РМ)».
 6. Принципы радиопеленгования.
 7. Определение «радиокурсовой угол», система его отсчета.
 8. Определение «радиодевиация», от чего зависит ее величина.
 9. Что такое истинный радиопеленг, система его отсчета.
 10. Точность определения места судна по радиопеленгам.
 11. Последовательность действий судоводителя при определении места судна по радиомаяков кругового излучения (РМК).
 12. Формулы расчета локсодромического пеленга.
 13. Особые случаи использования радиопеленгатора на промысле.
 14. Определение ортодромическая поправка.
 15. Правила определения знака ортодромической поправки.
 16. Сущность дальномерного способа определения места судна.