

ЛЕКЦИЯ 4

ИСТОРИЯ РАДИОНАВИГАЦИИ

РАДИОНАВИГАЦИЯ – определение подвижным объектом своего местоположения и курса с помощью радиотехнических средств

Радионавигация выросла из радиопеленгации.

Радиопеленгация – определение направления на источник радиоизлучения

Пеленг (от голланд. *pailing*) – угол между направлением на север и направлением на объект (измеряется по часовой стрелке и принимает значения от 0 до 360 градусов)

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РАДИОНАВИГАЦИИ

- С 1897 по 1920 гг. – первые идеи радиопеленгации и появление радиопеленгаторов и радиомаяков.
- С 1920 по 1935 гг. – создание и применение радиомаяков и радиопеленгаторов со слуховой индикацией.
- С 1935 по 1945 гг. – создание и внедрение самолетных радиополукомпасов и автоматических радиоконпасов с визуальной индикацией.
- С 1940 по 1960 гг. – разработка высокоточных систем определения координат с использованием дальнометрии. Создание систем ближней навигации, систем слепой посадки самолетов, глобальных систем дальней навигации.
- С 1963 по настоящее время – создание спутниковых радионавигационных систем и их совершенствование.

РАДИОПЕЛЕНГАЦИЯ

1887 г. – Г. Герц использовал рамку для обнаружения электромагнитных волн.

1905 – 1907 гг. – проводилось исследование рамочных антенн.

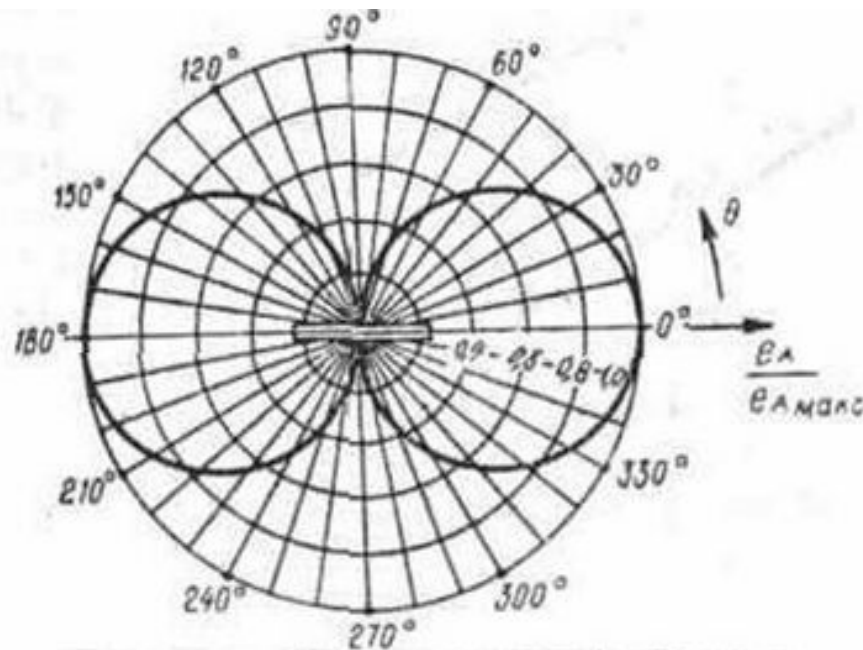
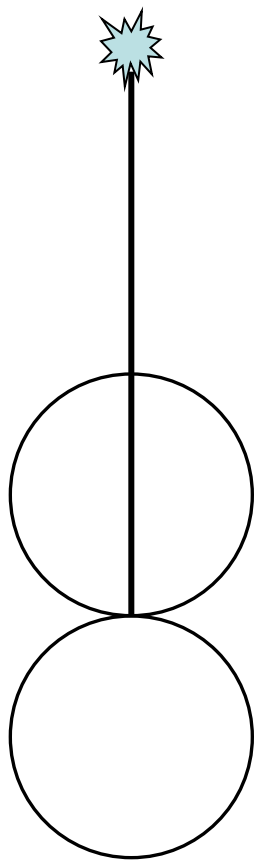


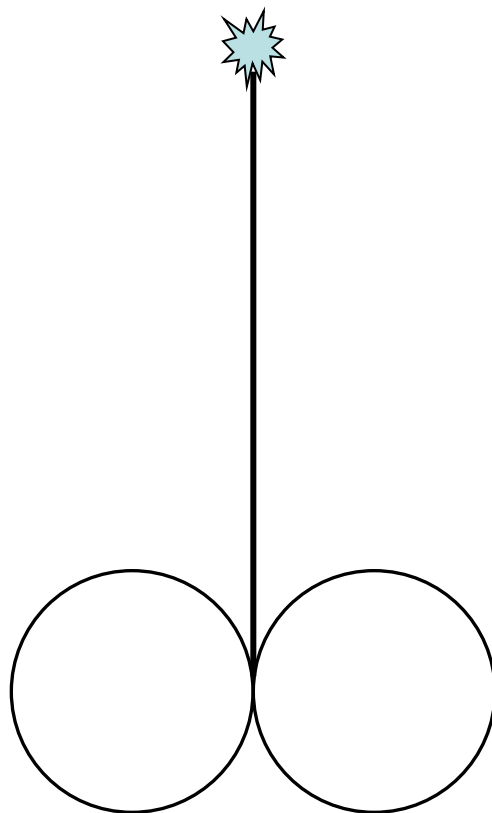
Диаграмма направленности
рамочной антенны

1906 г. – Отто Шеллер (Германия) запатентовал систему для определения направления прихода электромагнитной волны по равносигнальному направлению

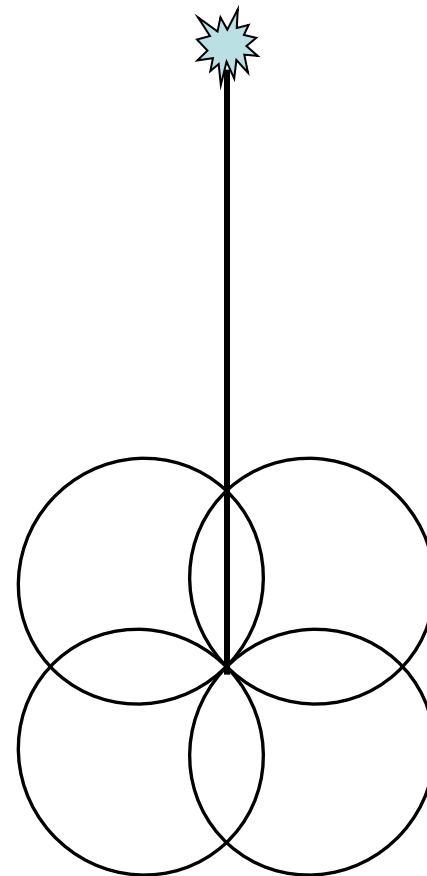
Методы амплитудной радиопеленгации



По максимуму
сигнала



По минимуму
сигнала



По равносигнальному
направлению

Корабельная радиопеленгация

Три возможности определения пеленга на корабле:

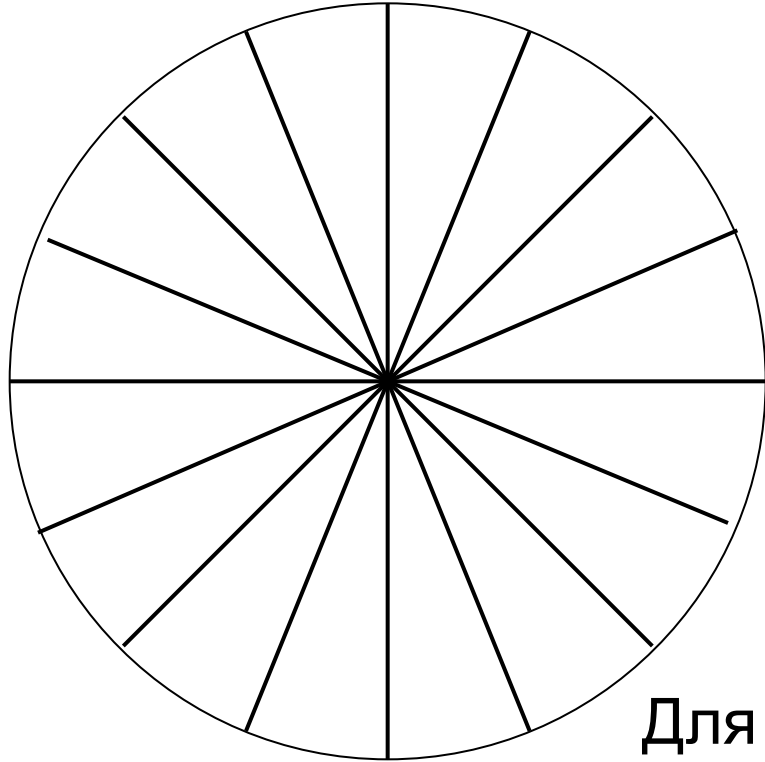
1. Береговой радиопеленгатор + корабельная радиостанция.
2. Береговой направленный радиомаяк + корабельная радиостанция.
3. Береговой ненаправленный радиомаяк + корабельный радиопеленгатор.

Использовались рамочные или подобные им антенны с восьмерочной диаграммой направленности.

Определение пеленга производилось по минимуму сигнала

Береговые радиопеленгаторы.

1910 – 1914 г. – первые береговые радиопеленгаторы.

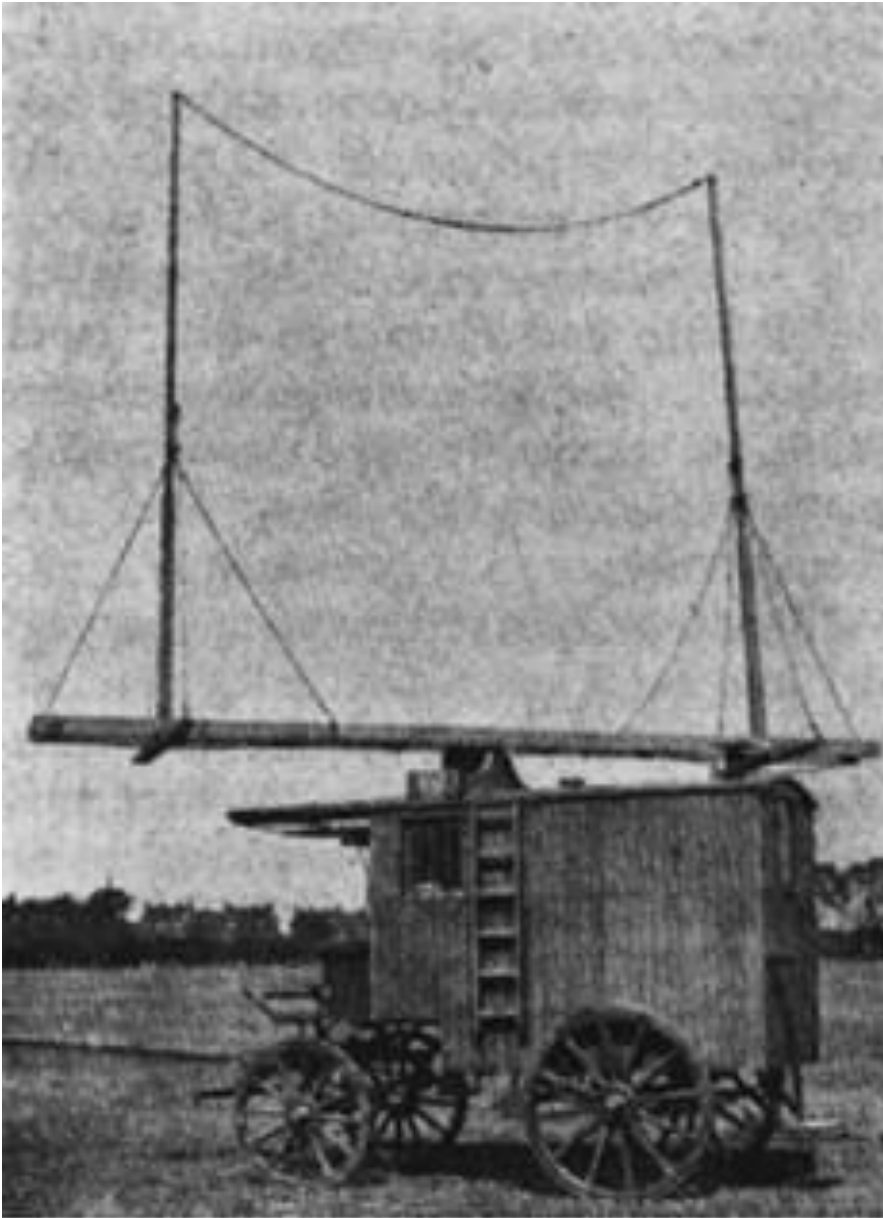


16 или 32 рамочных антенны располагались по диаметру окружности через равные углы (соответственно через 2 румба и 1 румб) и подсоединялись к приемнику. Пеленг определялся по положению рамки, сигнал с которой минимален.

Для получения пеленга корабль должен со своей радиостанции отправить запрос и излучать радиосигнал, пока пеленг не будет определен.

1914 г. – радиопеленгатор И.И.Ренгартена (Россия).

Меньшее распространение получили радиопеленгаторы с вращающейся рамкой

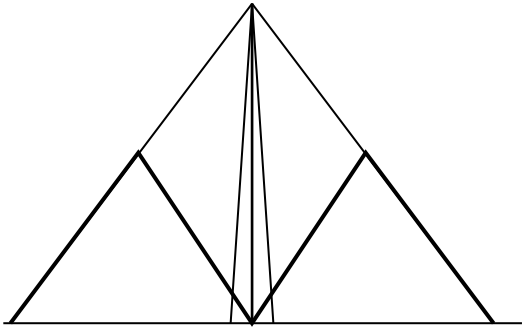


Радиопеленгатор с вращающейся рамкой (1918 г.)

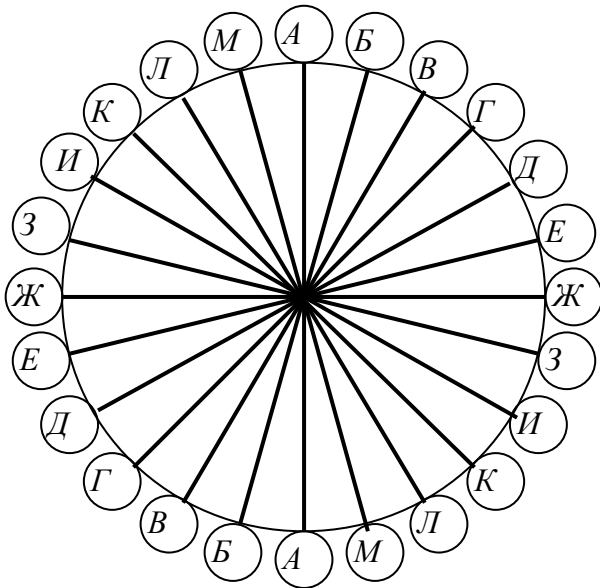
Направленные радиомаяки.

Направленные радиомаяки излучали сигнал, приняв который, на корабле определяли свой пеленг

1915 г. – Радиомаяк Баженова с буквенным определением пеленга.

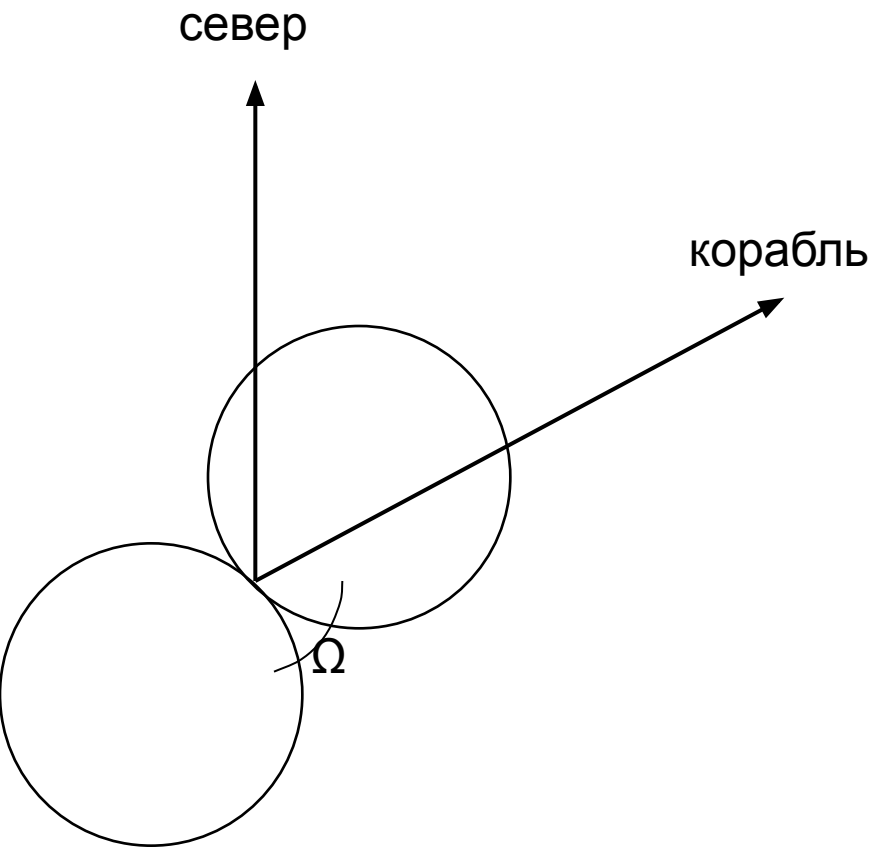


М-образные антенны последовательно подключаются к передатчику и каждая излучает свою букву



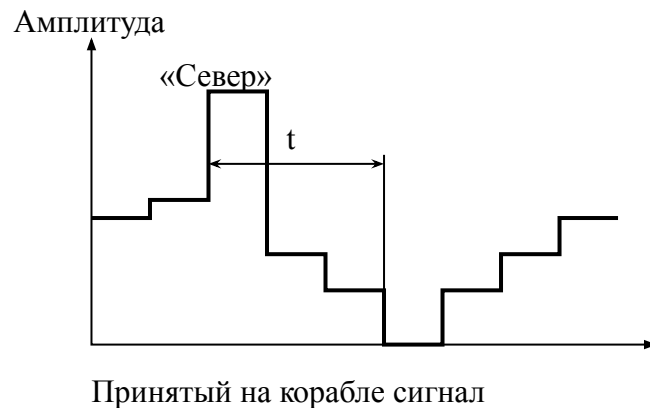
На корабле пеленг определяется по букве, имеющей наименьшую громкость

Измерение пеленга по методу фирмы ТЕЛЕФУНКЕН



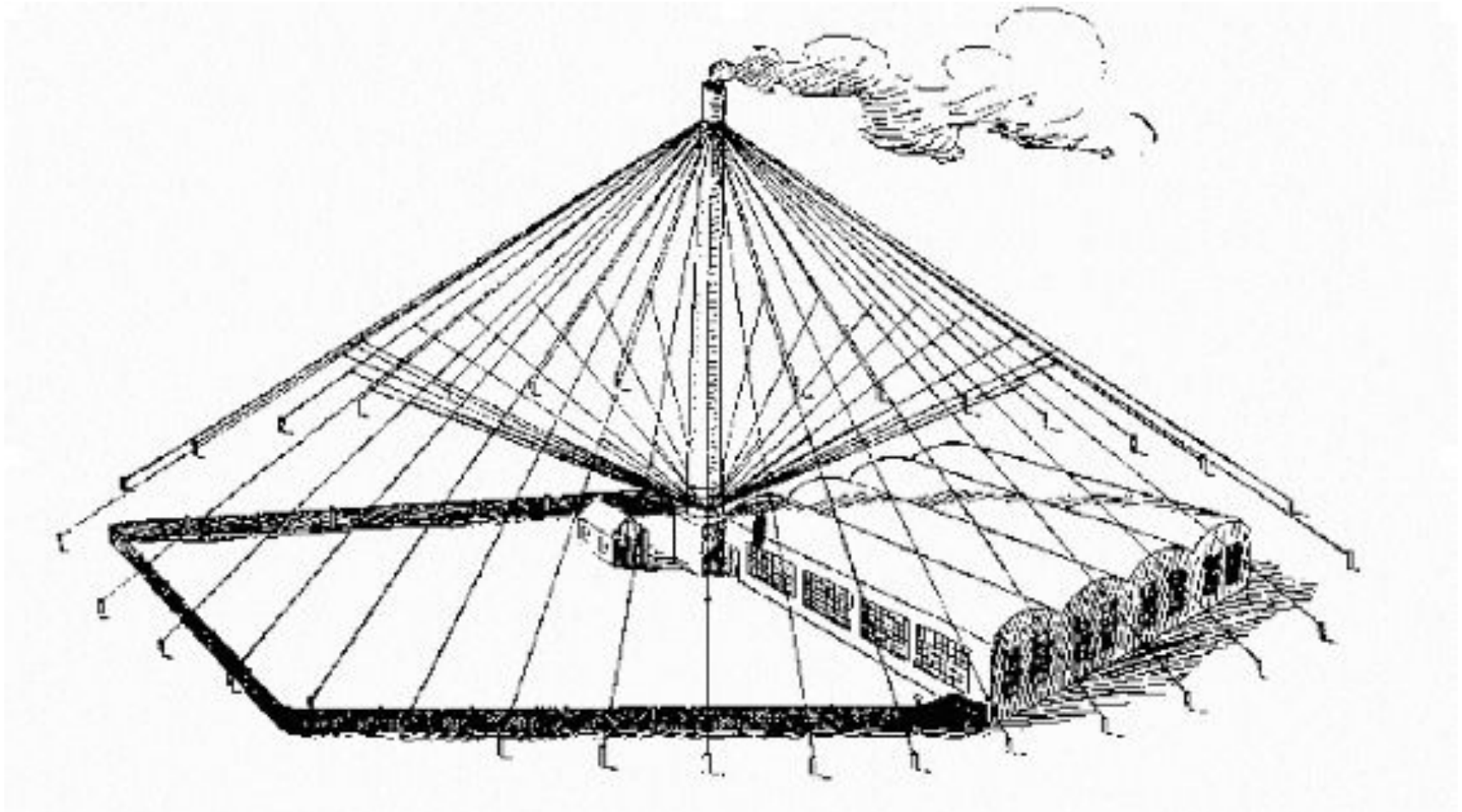
16 антенн поочередно подключаются к передатчику и излучают немодулированный сигнал, формируя таким образом вращающуюся диаграмму направленности.

Когда ноль ДН направлен на север, излучается мощный сигнал с ненаправленной антенны, принимаемый всеми кораблями.



Пеленг рассчитывается по времени между сигналом «север» и нулем принятого на корабле сигнала: $\alpha = \Omega t$

Фирмой Телефункен такой радиомаяк был разработан перед первой мировой войной.



Труба одной из германских фабрик служащей в качестве мачты для радионавигационной системы Telefunken

Этот принцип измерения пеленга стал использоваться в вращающихся радиомаяках



Первый вращающийся радиомаяк был построен и испытан в Англии в Фарнбороу в 1926 г. В СССР такой маяк был установлен в 1934 г. на берегу Черного моря (г. Херсонес)

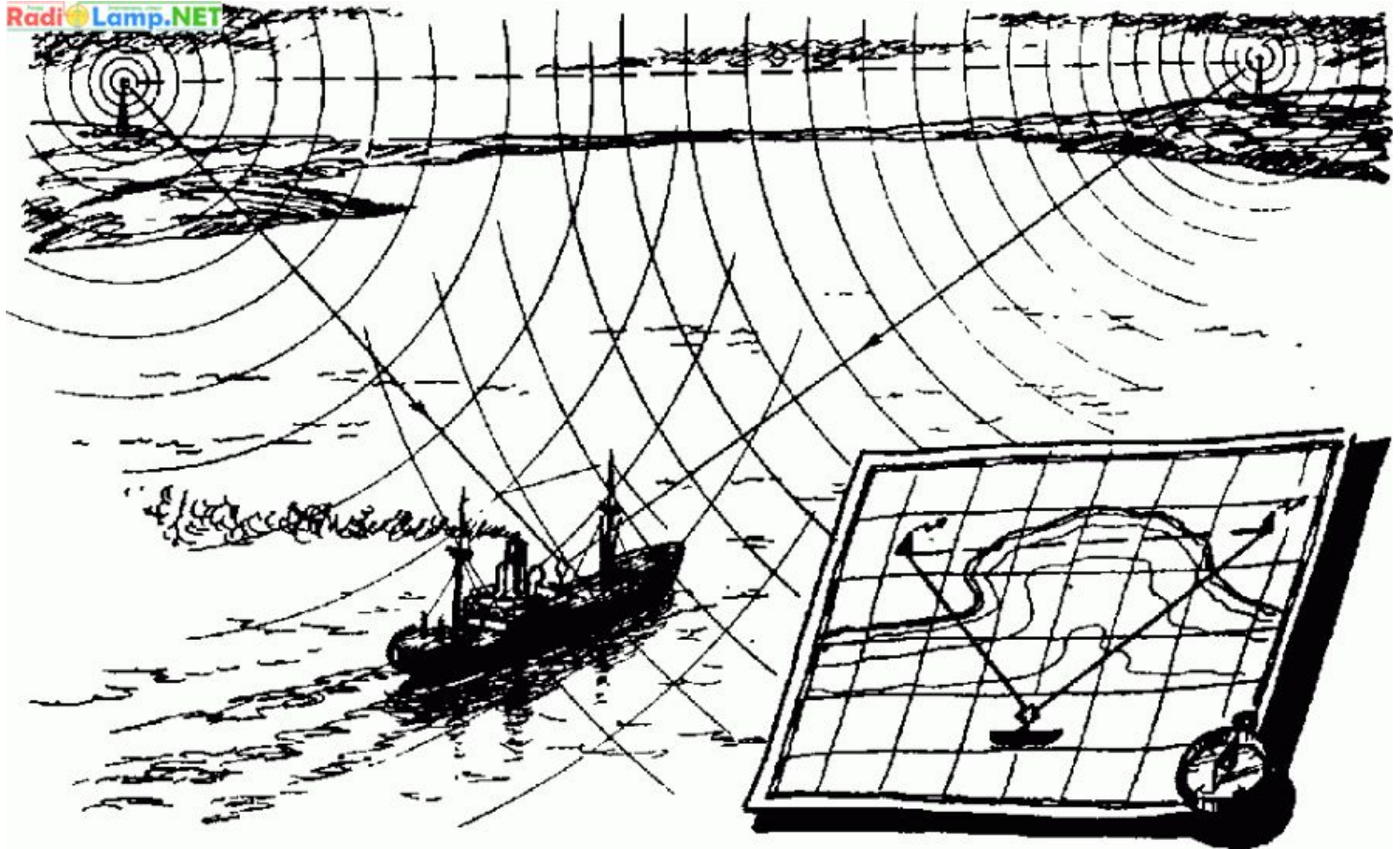
Дальность действия 180 км

Длина волны от 800 до 1000 м

Скорость вращения 1 об/мин

Ошибка определения пеленга 1 – 2 град.

Ненаправленные радиомаяки и корабельные радиопеленгаторы .



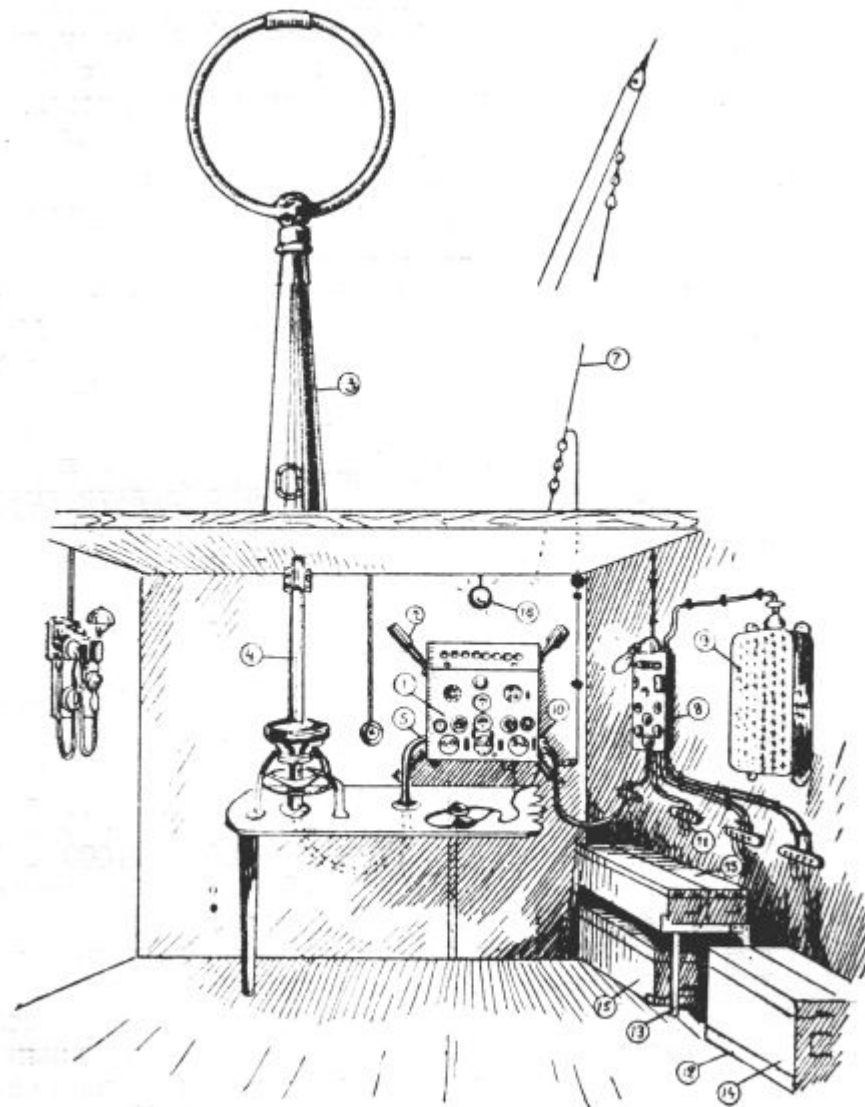
1907г. – в США сооружен первый ненаправленный радиомаяк. Для определения пеленга требовались корабельные радиопеленгаторы.

В 1907 г. на кораблях американского флота появились радиопеленгаторы фирмы «Stone Radio & Telegraph Co»

В России корабельный радиопеленгатор был принят на вооружение флота в конце 1915 года.

В 1916 г. фирма «Marconi Wireless Telegraph Co» наладила производство корабельных радиопеленгаторов.

После изобретения в 1916 г. антенных систем «штырь-рамка», обладающих кардиоидной диаграммой направленности, появились радиопеленгаторы с односторонней направленностью.



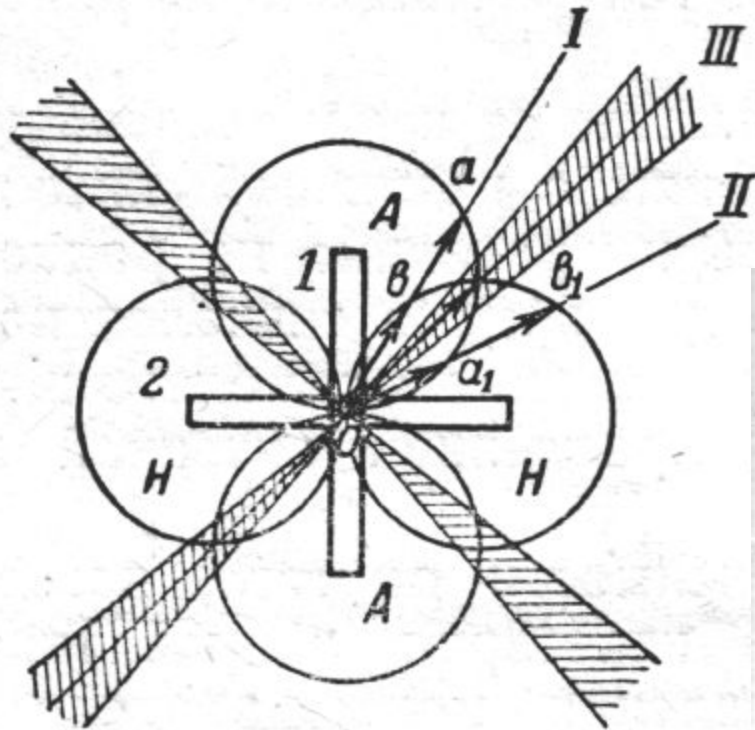
Корабельный радиопеленгатор

Самолетная радиопеленгация

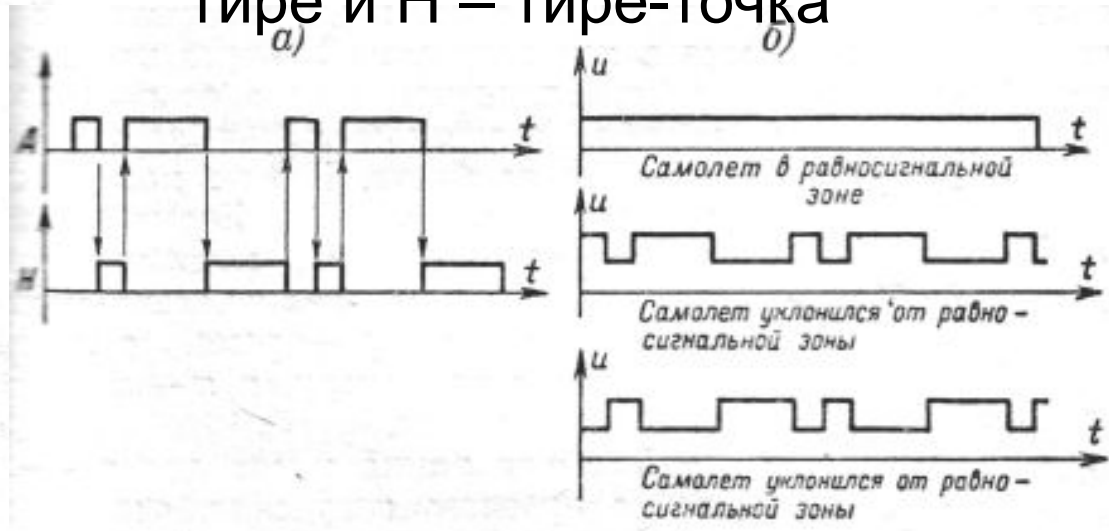
Четырехкурсовой радиомаяк

Четырехкурсые радиомаяки широко использовались в самолетной радионавигации в 20-е, начало 30-х годов XX века. Они ставились по трассе самолета через 100 – 200 км

Использовались переплетающиеся буквы азбуки Морзе: А – точка-тире и Н – тире-точка



Работа радиомаяка зоной.



Работа радиомаяка в перекрытии.

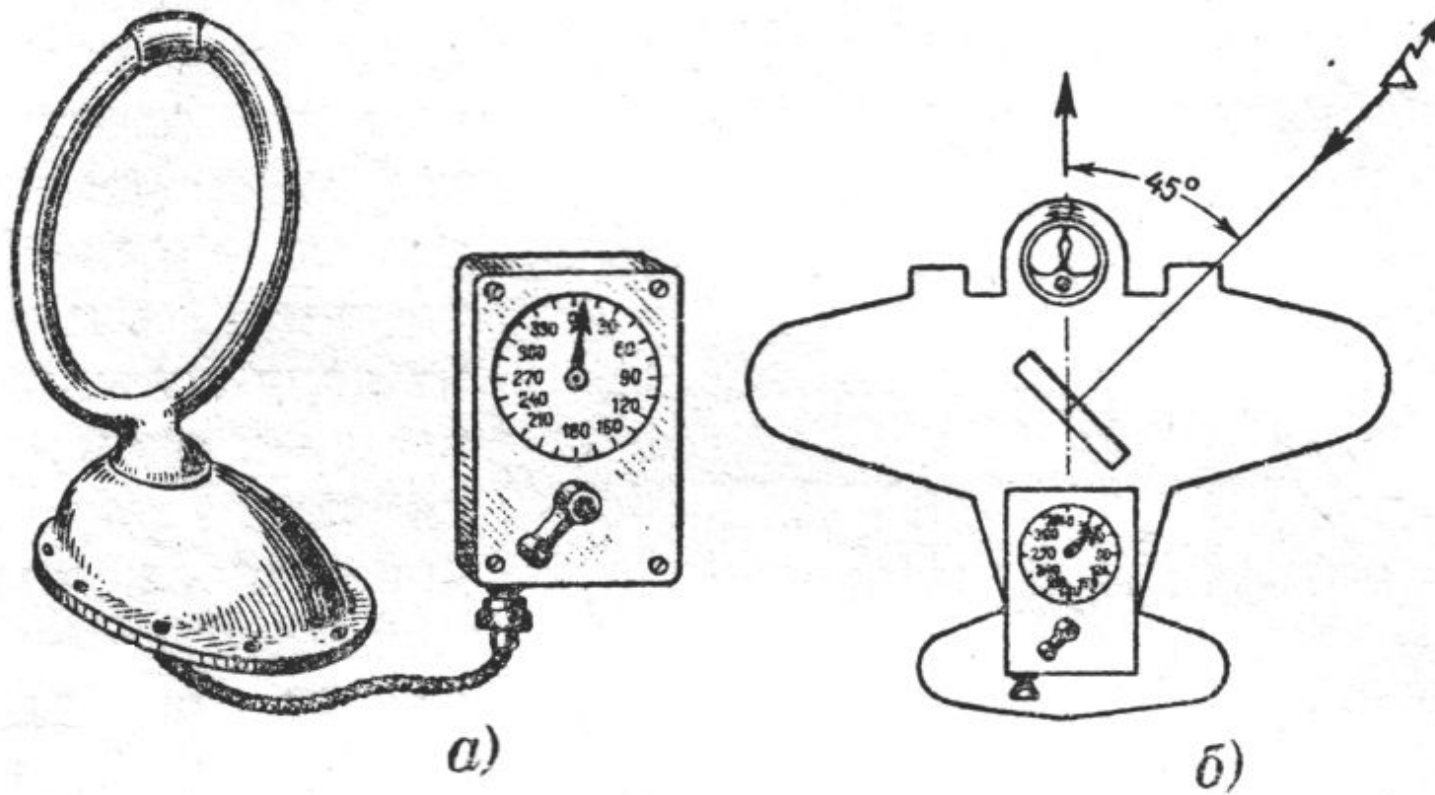
Во второй половине 30-х годов четырехкурсовые радиомаяки стали заменяться самолетными радиопеленгаторами (радиокомпасами), работающими с ненаправленными радиомаяками.

1934 г. – в Германии и СССР разработаны первые радиополукомпасы, выводящие самолет на аэродромную приводную радиостанцию

В 1938 г. налаживается производство РПК «Чайка».

1938 г. – в США разработан автоматический радиокомпас, работающий с ненаправленными радиомаяками.

Радиокомпас



Поворотная рамка с датчиком.

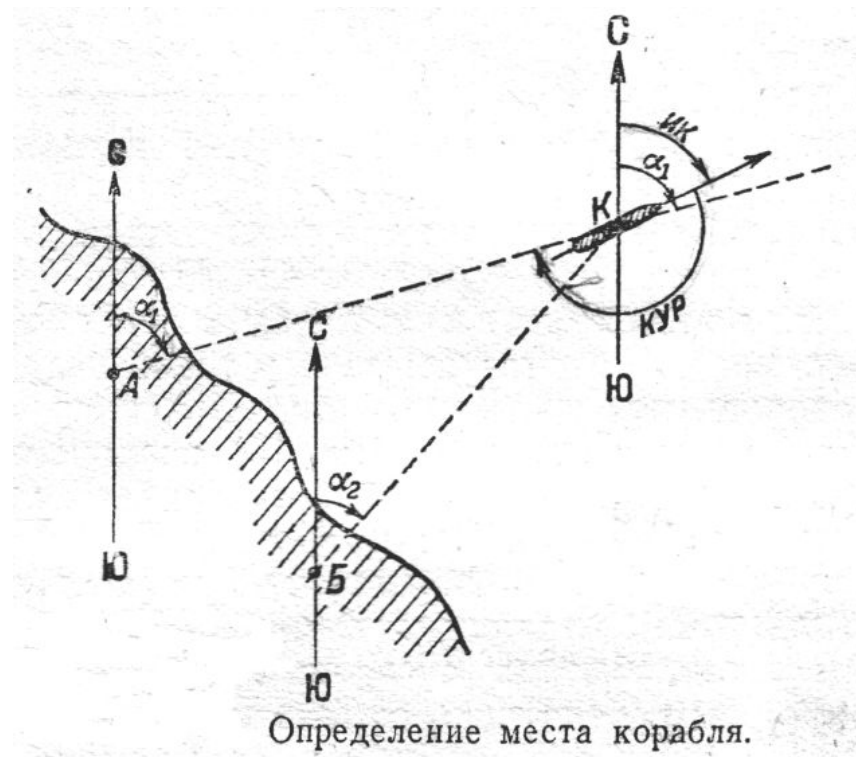
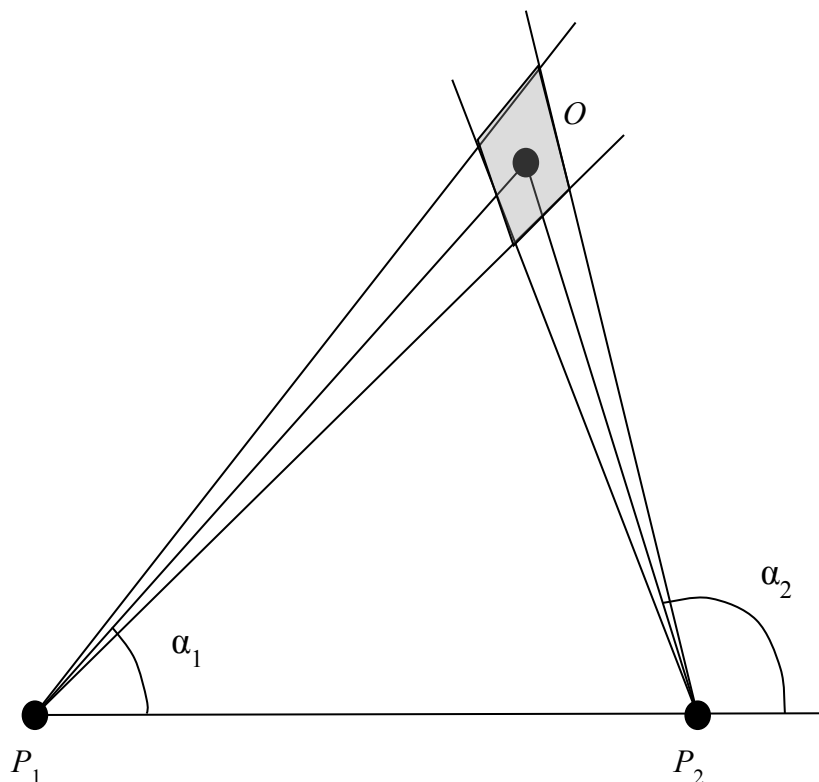
РАДИОНАВИГАЦИЯ

В 1940-е годы в радионавигации произошли значительные изменения, связанные с тем, что радиопеленгацию потеснила радиодальнометрия. Появилась возможность высокоточного измерения координат на любой дальности

1930 г. – Л.И.Мандельштам и Н.Д.Папалекси (СССР) получили патент на радиоинтерференционный (фазовый) метод измерения дальности. Совместно с Е.Я.Щеголевым в 1936 г. был разработан первый радиоинтерференционный дальномер МПЩ (дальность – до 200 км, ошибка – до 10 м), который использовался для картографии.

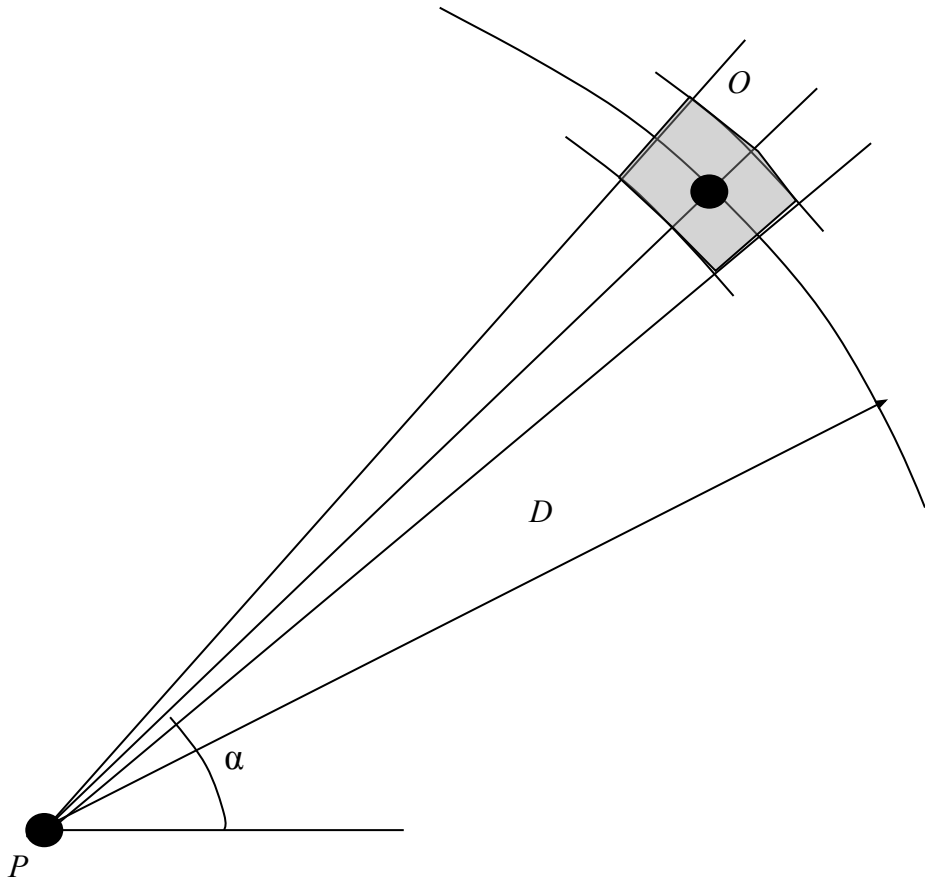
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

Угломерный



1920-е годы

Угломерно-дальномерный



Используется в системах ближней навигации: РСБН (1958, СССР), VOR/DME (1948, США)

Угол измеряется всенаправленным радиопеленгатором относительно направления «север», дальность – импульсным методом по запросу с самолета.



РСБН-2

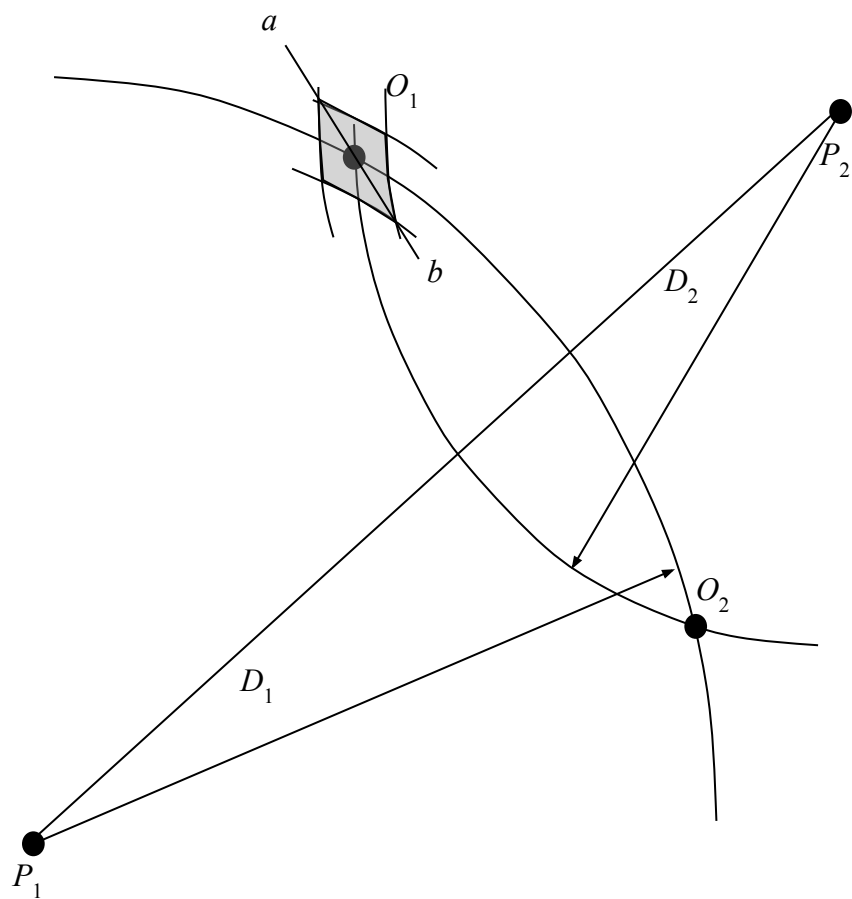


Совмещенные
радиомаяк
азимутальный
РМА-90 и
радиомаяк
дальномерный
РМД-90



Антенная система VOR/DME

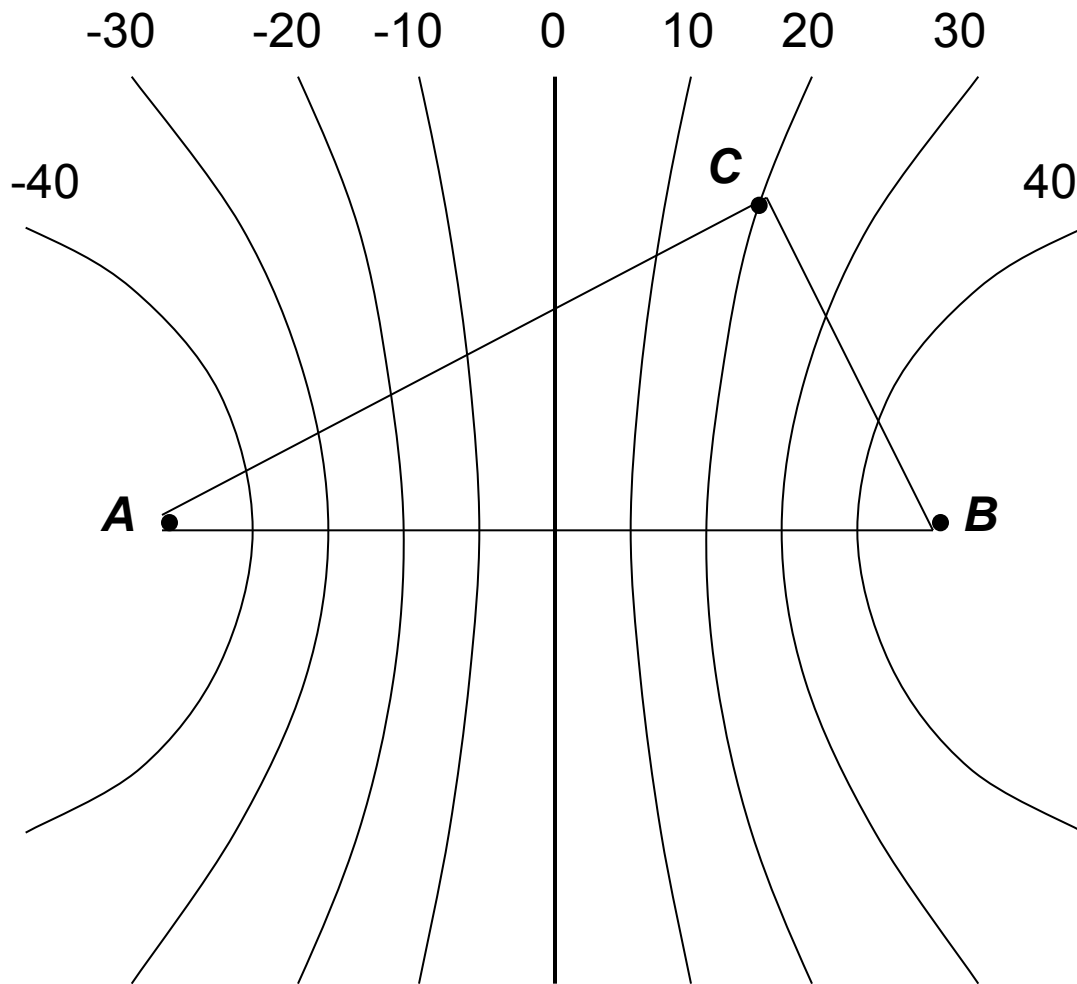
Дальномерный



Шоран (Short Range Navigation, 1943 г., США) – дальномерная импульсная система

Дальность действия до 500 км
Несущая частота 200 – 300 МГц
Точность 10 – 20 м

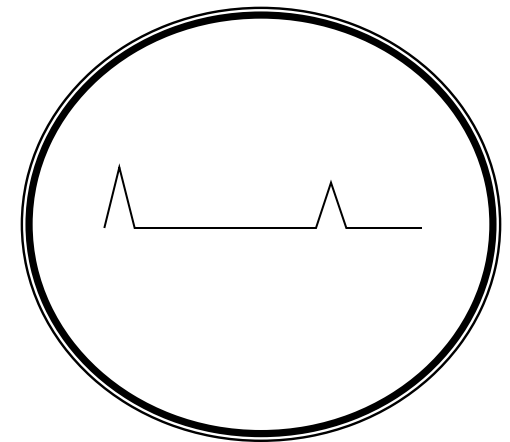
Разностно-дальномерный



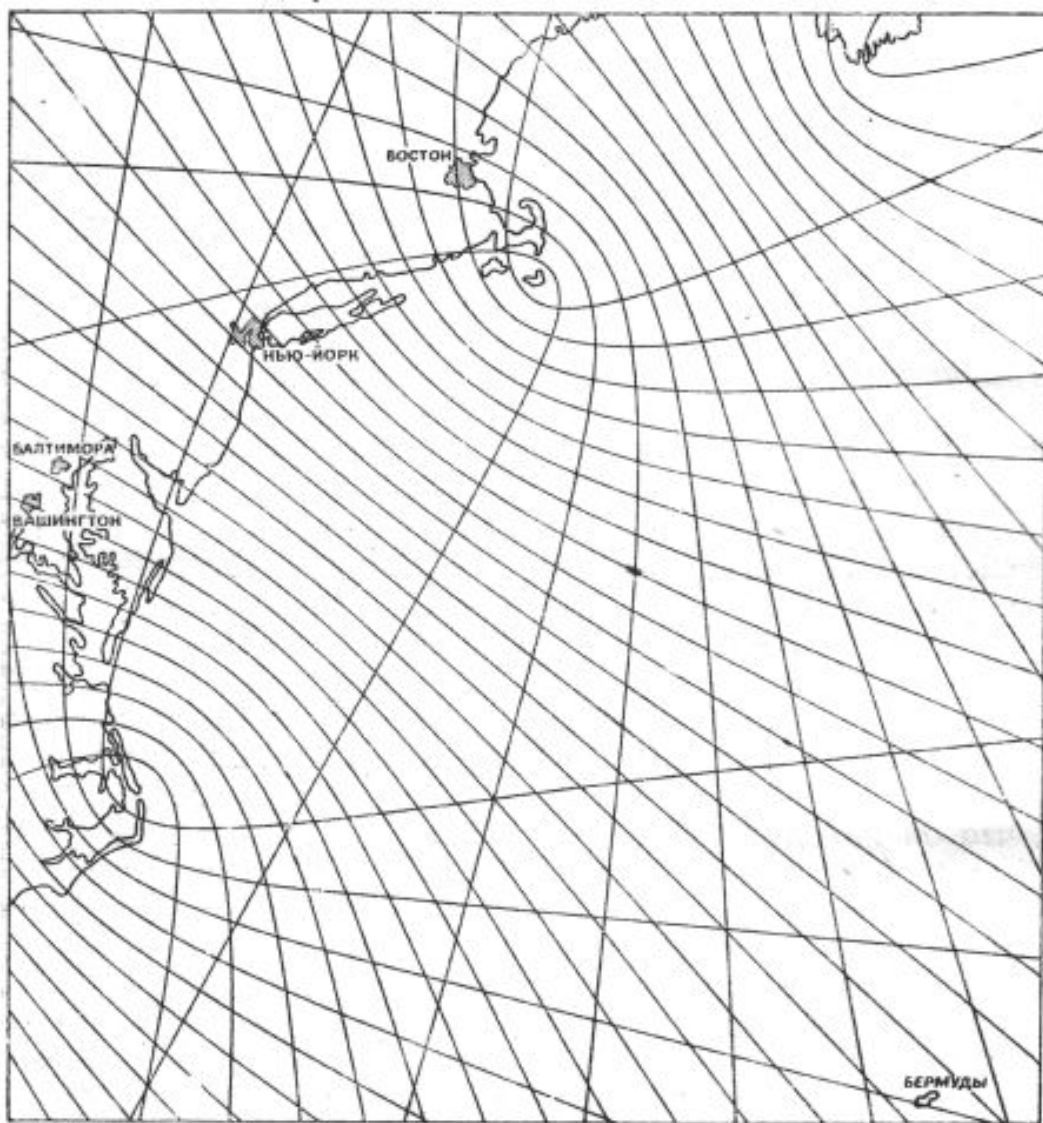
A – ведущая станция

B – ведомая станция

$$AC - CB = \text{Const}$$



Индикатор бортового приемника (C) Первая отметка от **A**, вторая – от **B**.



Карта линий Лоран

Лоран-А (Long Range Navigation 1942 г., США)

– разностно-
дальномерная
импульсная система

Частота 1750 – 1950 кГц

Дальность действия
-1200 – 2000 км

Точность от 1 до 5 км

Лоран-С (1958 г., США) –

разностно-
дальномерная
импульсно-фазовая
система

Частота 100 кГц

Дальность действия
-2000 – 3000 км

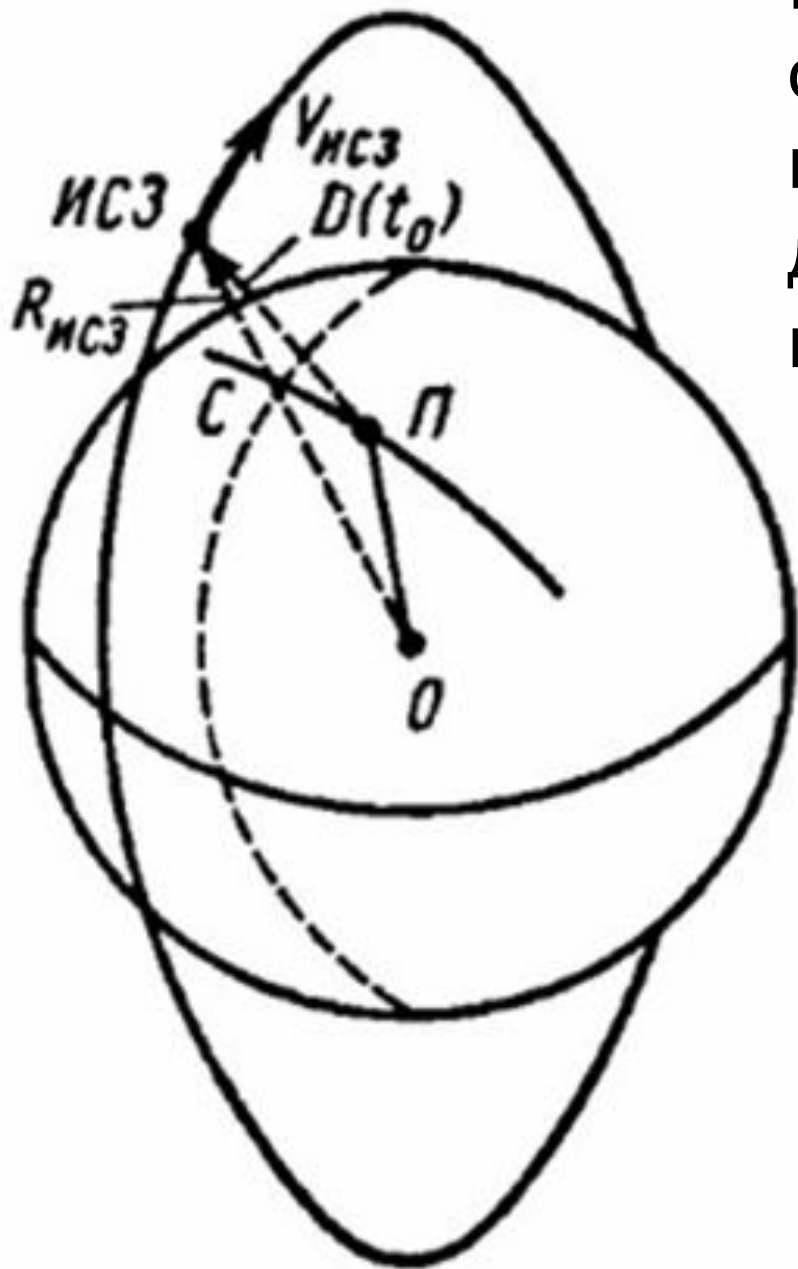
Точность до 100 м

СПУТНИКОВЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

1957 г. – запуск искусственного спутника Земли (СССР)

1963 г. – начало работ по низкоорбитальной навигационной системе “Цикада” (СССР); первый навигационный спутник запущен в 1967 г.

1964 г. – начало работ по низкоорбитальной навигационной системе Transit (США).



Координаты наземного объекта **П** рассчитывались по зависимости доплеровской частоты от времени

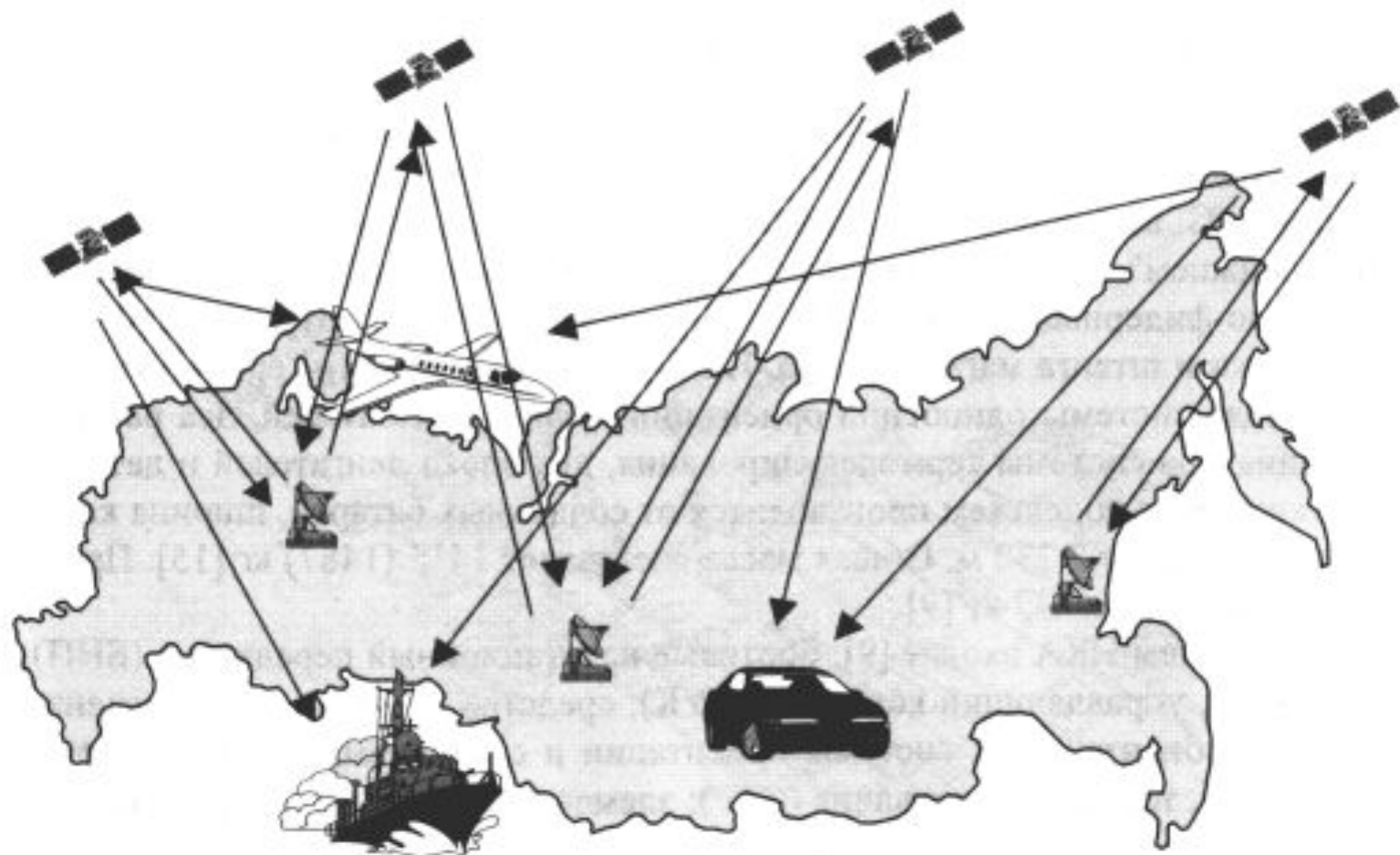
Недостатки:

- 1) низкая точность определения координат высокоскоростных объектов,
- 2) перерывы в получении информации из-за ухода спутников из зоны радиовидимости.

СРЕДНЕВЫСОТНЫЕ СНС

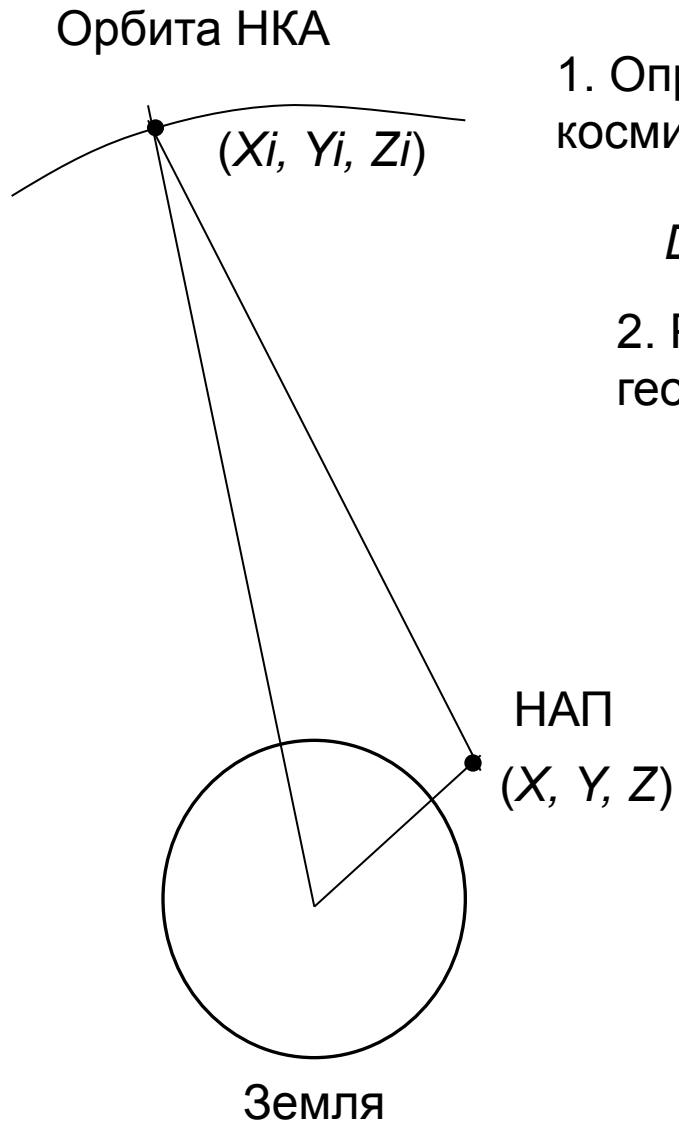
- 1973 г.** – начало работ по программе “NavStar-GPS” (США)
- 1982 г.** – начало работ по программе ГЛОНАСС (СССР)
- 1995 г.** – развертывание полной спутниковой группировки (24 ИСЗ) системы GPS
- 2005 г.** – запущен первый спутник европейской СНС Galileo

СРНС ГЛОНАСС включает в себя три сегмента: космический сегмент с орбитальной группировкой (ОГ) НКА; сегмент управления – наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой НКА; сегмент НАП – аппаратуры пользователей



Система ГЛОНАСС

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ



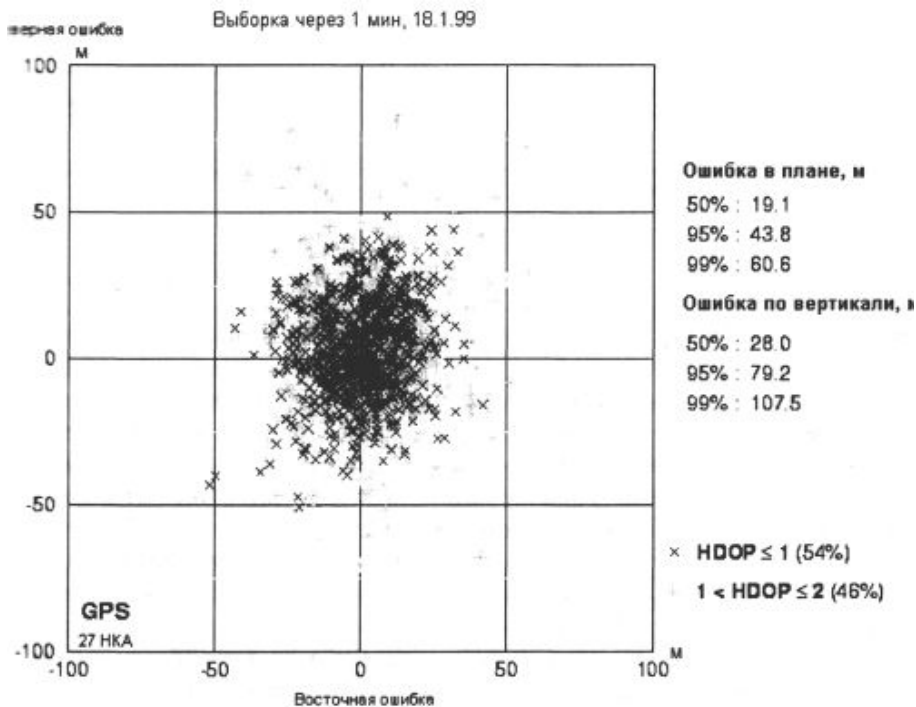
1. Определение псевдодадыности между навигационным космическим аппаратом (НКА) и пользователем (НАП)

$$D_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + cT_{\text{нш}}$$

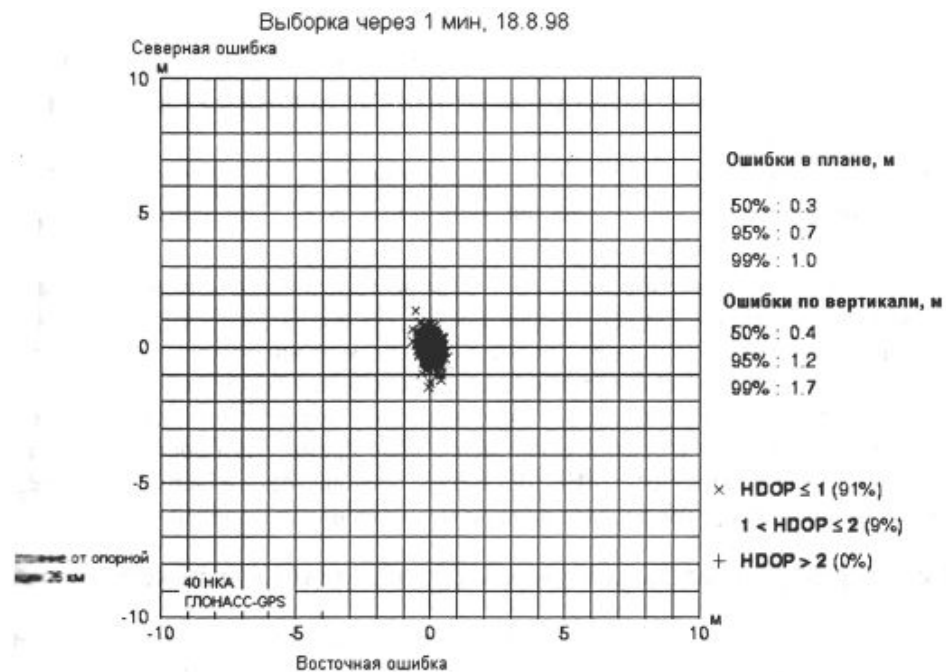
2. Расчет координат пользователя в прямоугольной геоцентрической системе координат (X, Y, Z)

3. Пересчет в координаты, обычно используемые потребителем, например, геодезические: широта, долгота и высота

ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

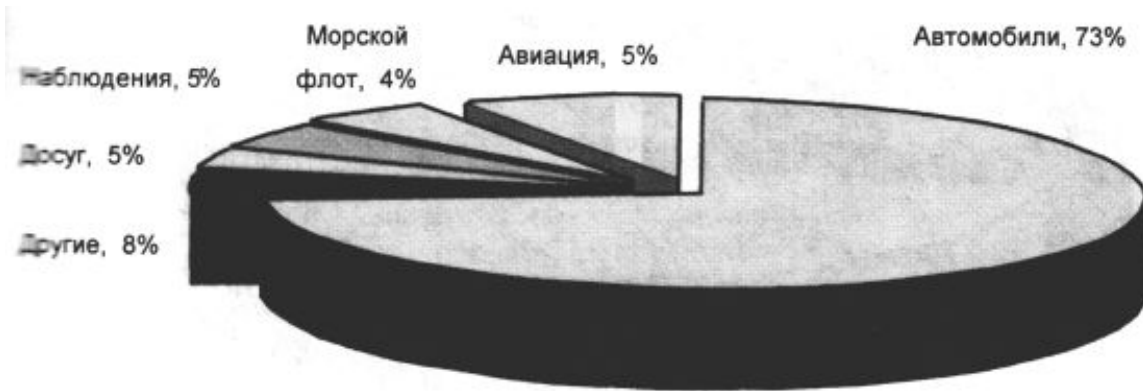


Ошибки местоопределения по системе GPS

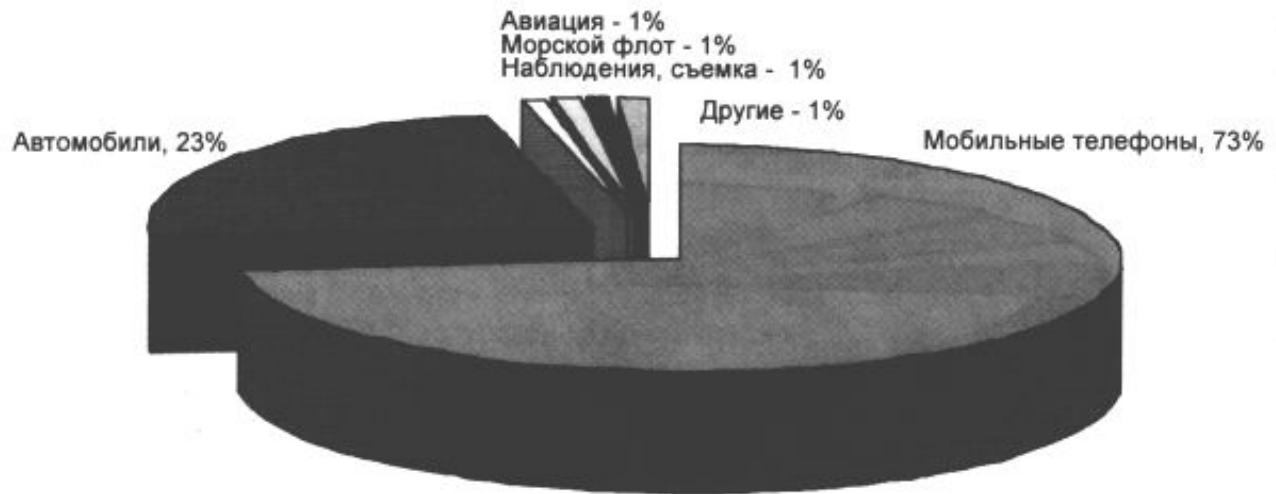


Ошибки местоопределения в дифференциальном режиме систем ГЛОНАСС/GPS

ЕВРОПЕЙСКИЙ РЫНОК СРНС



Распределение европейского рынка СРНС 2000 г



Распределение европейского рынка СРНС, 2005 г.