

## 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.

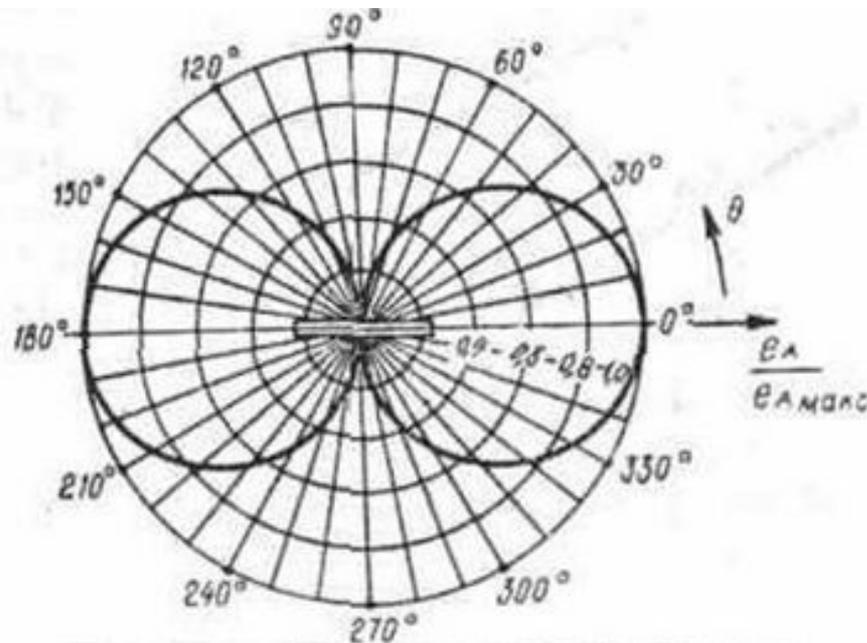
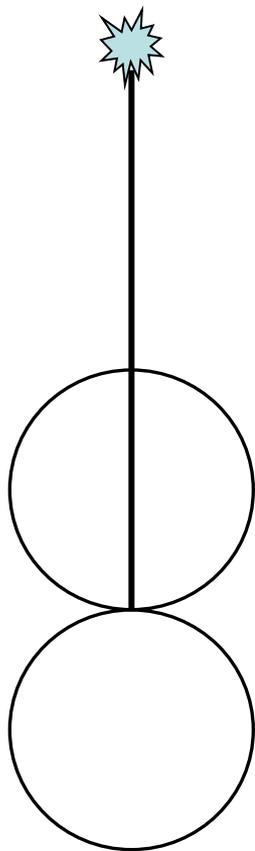


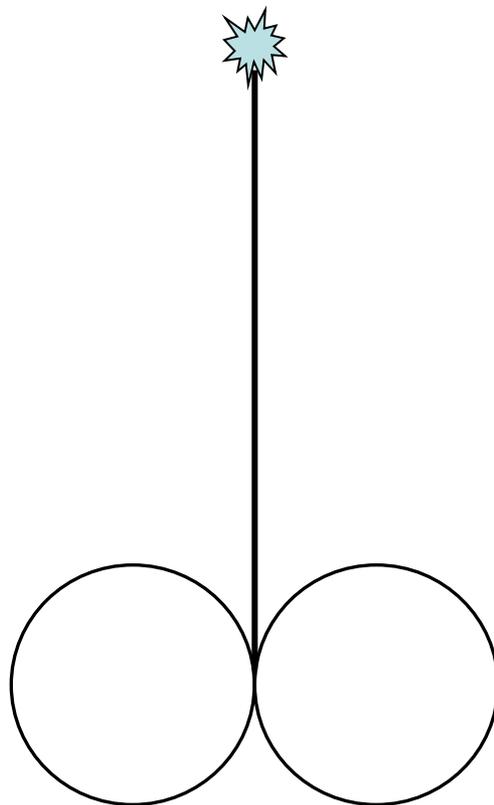
Диаграмма направленности  
рамочной антенны

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

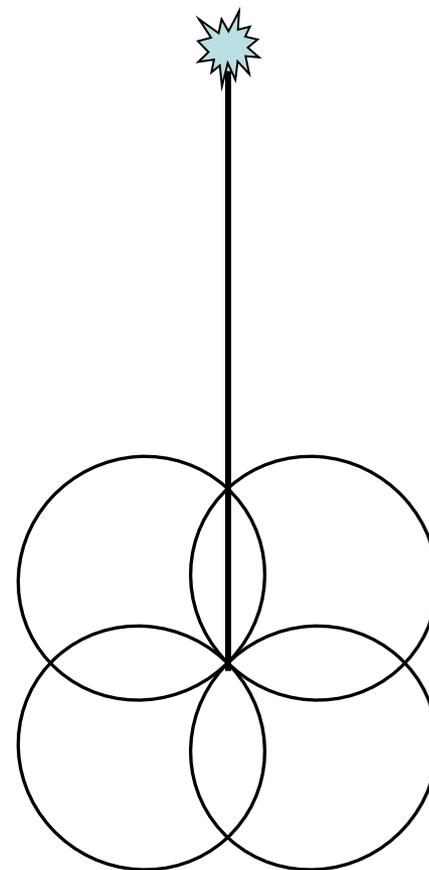
# Методы амплитудной радиопеленгации



По максимуму  
сигнала



По минимуму  
сигнала



По равносигнальному  
направлению

# Корабельная радиопеленгация

Три возможности определения пеленга на корабле:

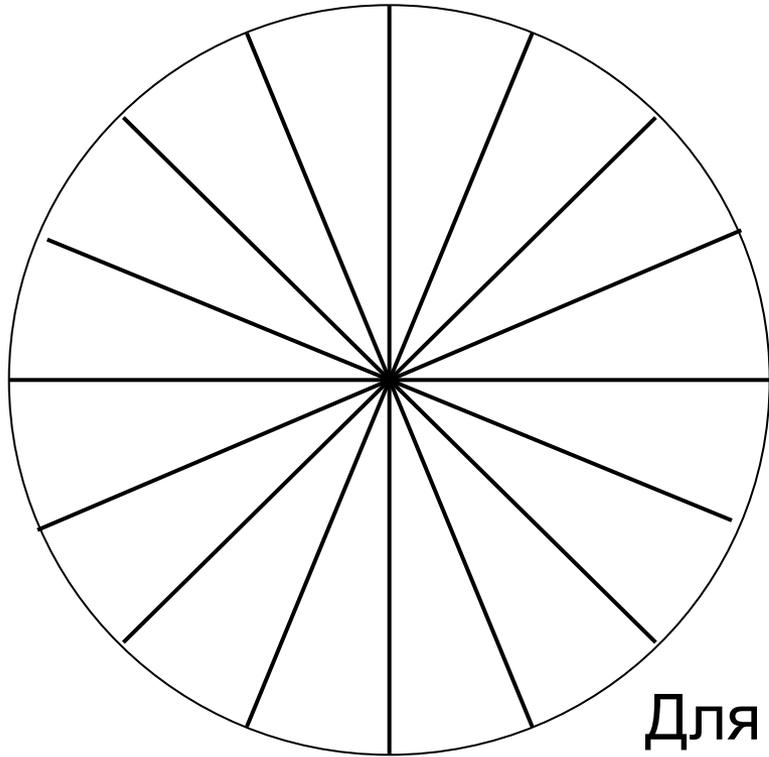
1. Береговой радиопеленгатор + корабельная радиостанция.
2. Береговой направленный радиомаяк + корабельная радиостанция.
3. Береговой ненаправленный радиомаяк + корабельный радиопеленгатор.

Использовались рамочные или подобные им антенны с восьмерочной диаграммой направленности.

Определение пеленга производилось по минимуму сигнала

# Береговые радиопеленгаторы.

**1910 – 1914 г.** – первые береговые радиопеленгаторы.

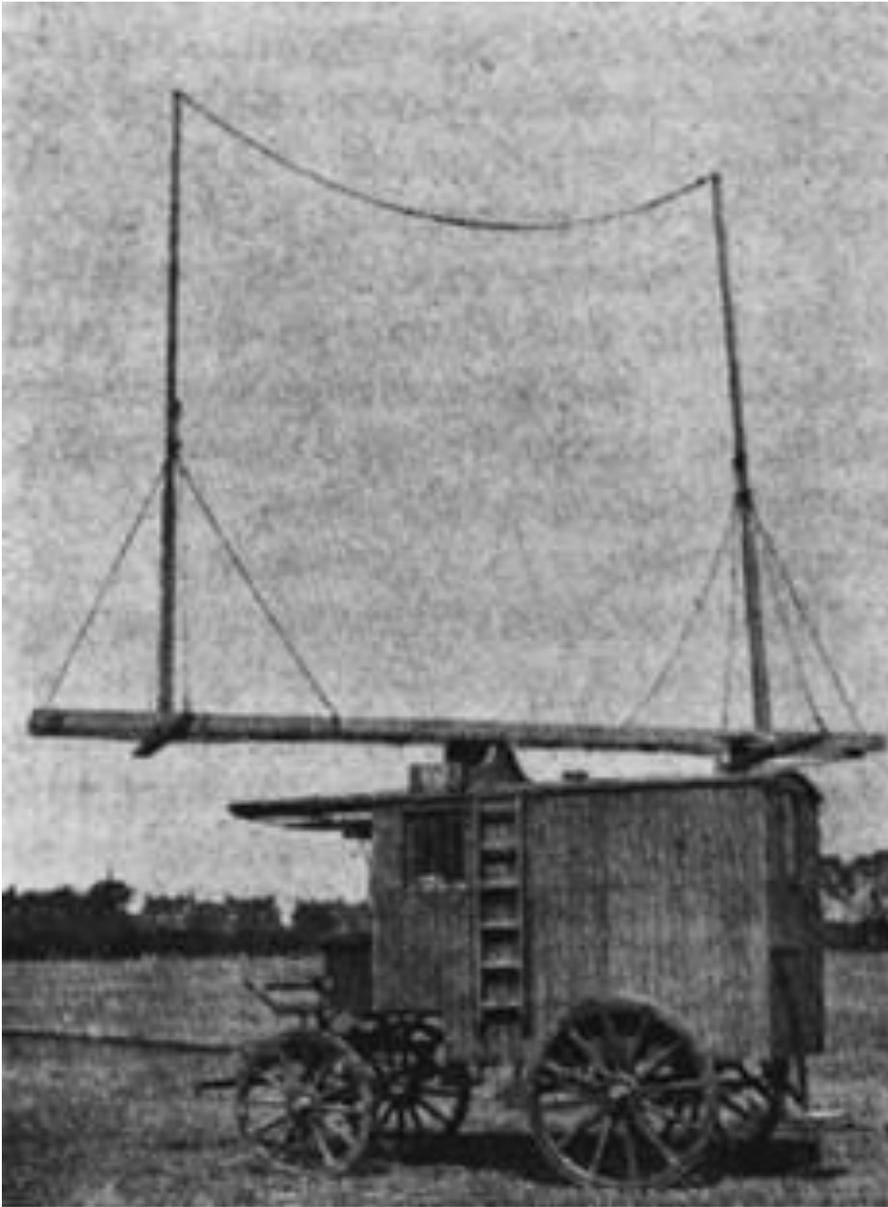


16 или 32 рамочных антенны располагались по диаметру окружности через равные углы (соответственно через 2 румба и 1 румб) и подсоединялись к приемнику. Пеленг определялся по положению рамки, сигнал с которой минимален.

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

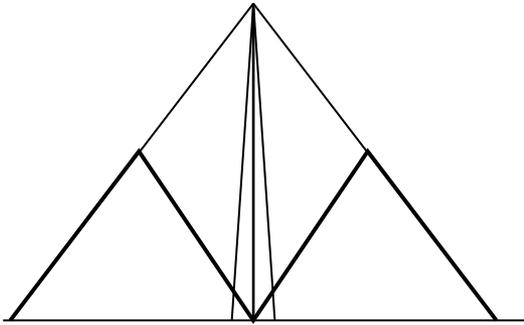


Радиопеленгатор с вращающейся рамкой (1918 г.)

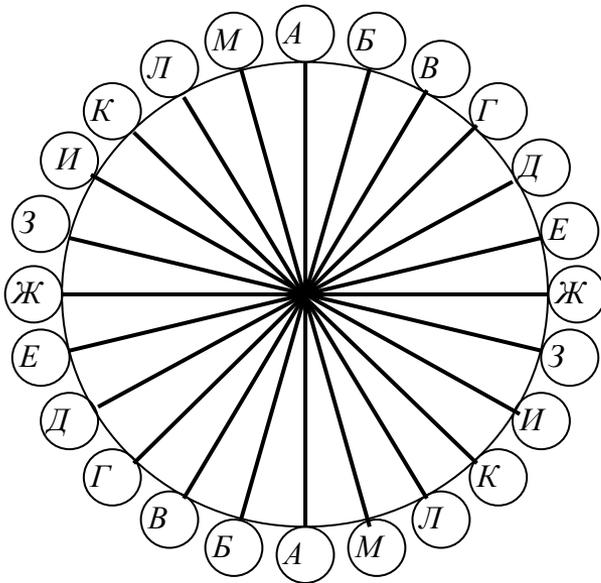
# Направленные радиомаяки.

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

**1915 г.** – Радиомаяк Баженова с буквенным определением пеленга.

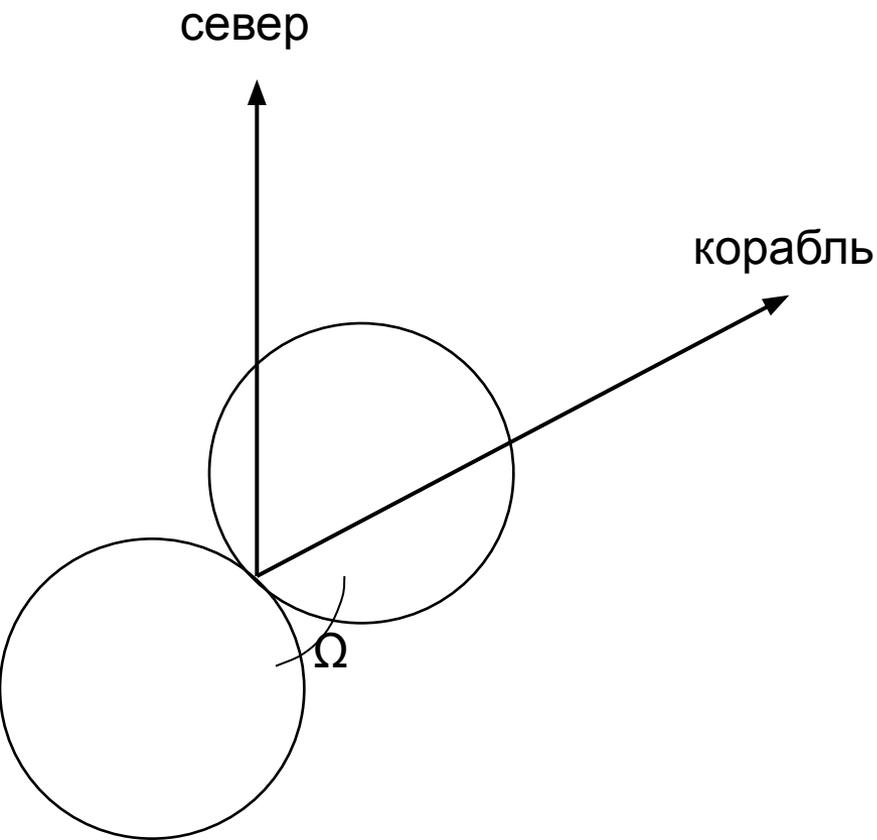


M-образные антенны последовательно подключаются к передатчику и каждая излучает свою букву



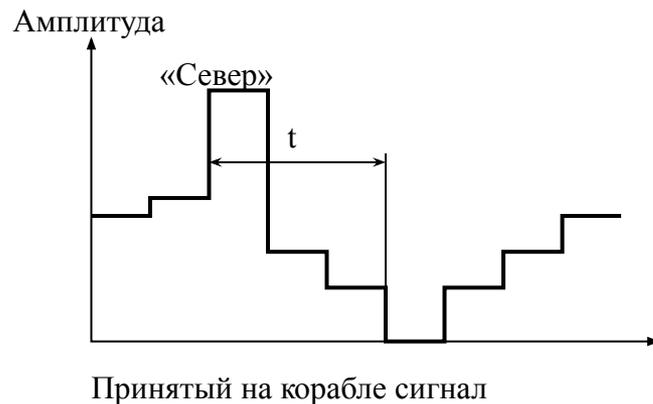
На корабле пеленг определяется по букве, имеющей наименьшую громкость

# Измерение пеленга по методу фирмы ТЕЛЕФУНКЕН



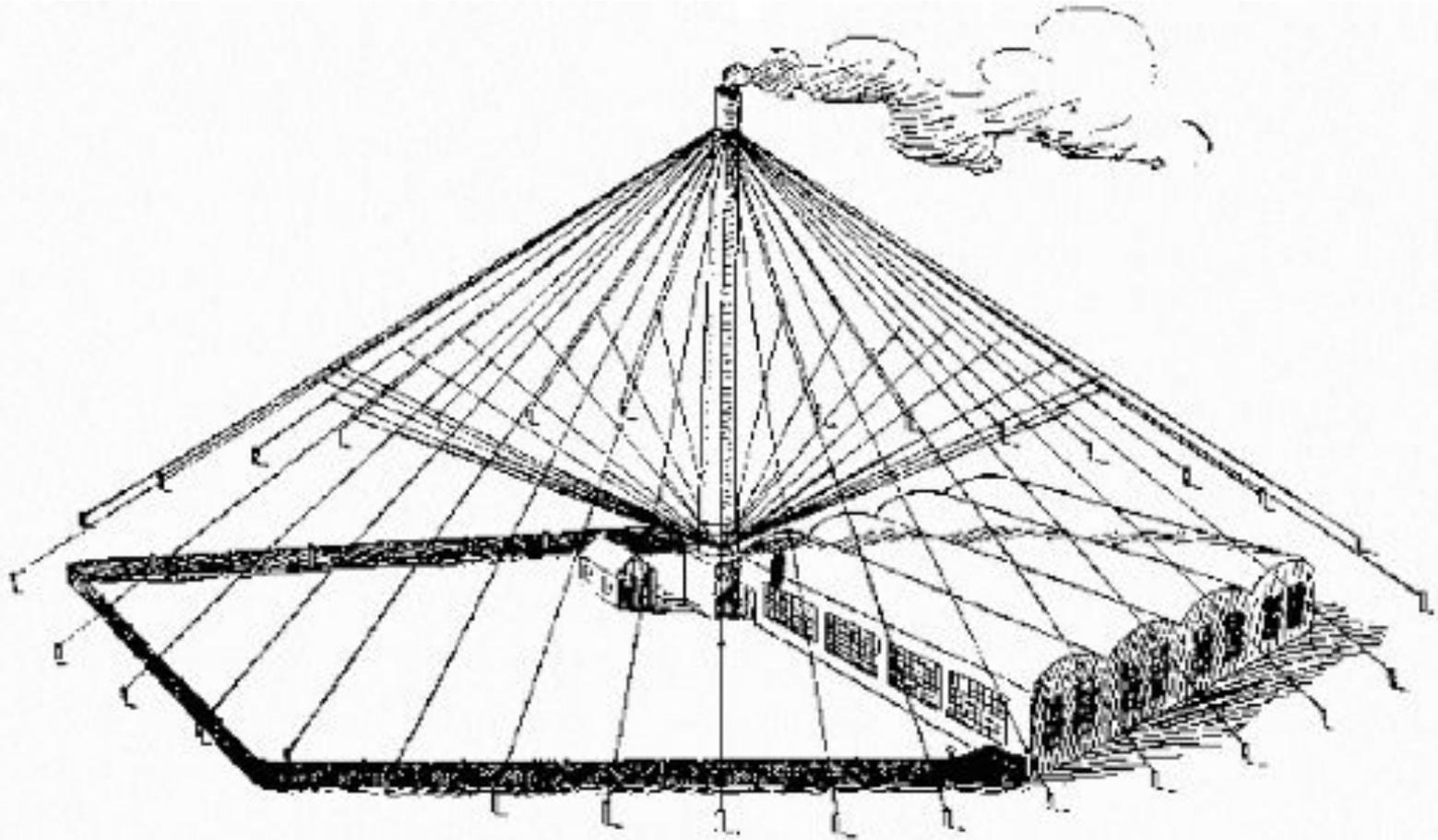
16 антенн поочередно подключаются к передатчику и излучают немодулированный сигнал, формируя таким образом вращающуюся диаграмму направленности.

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)

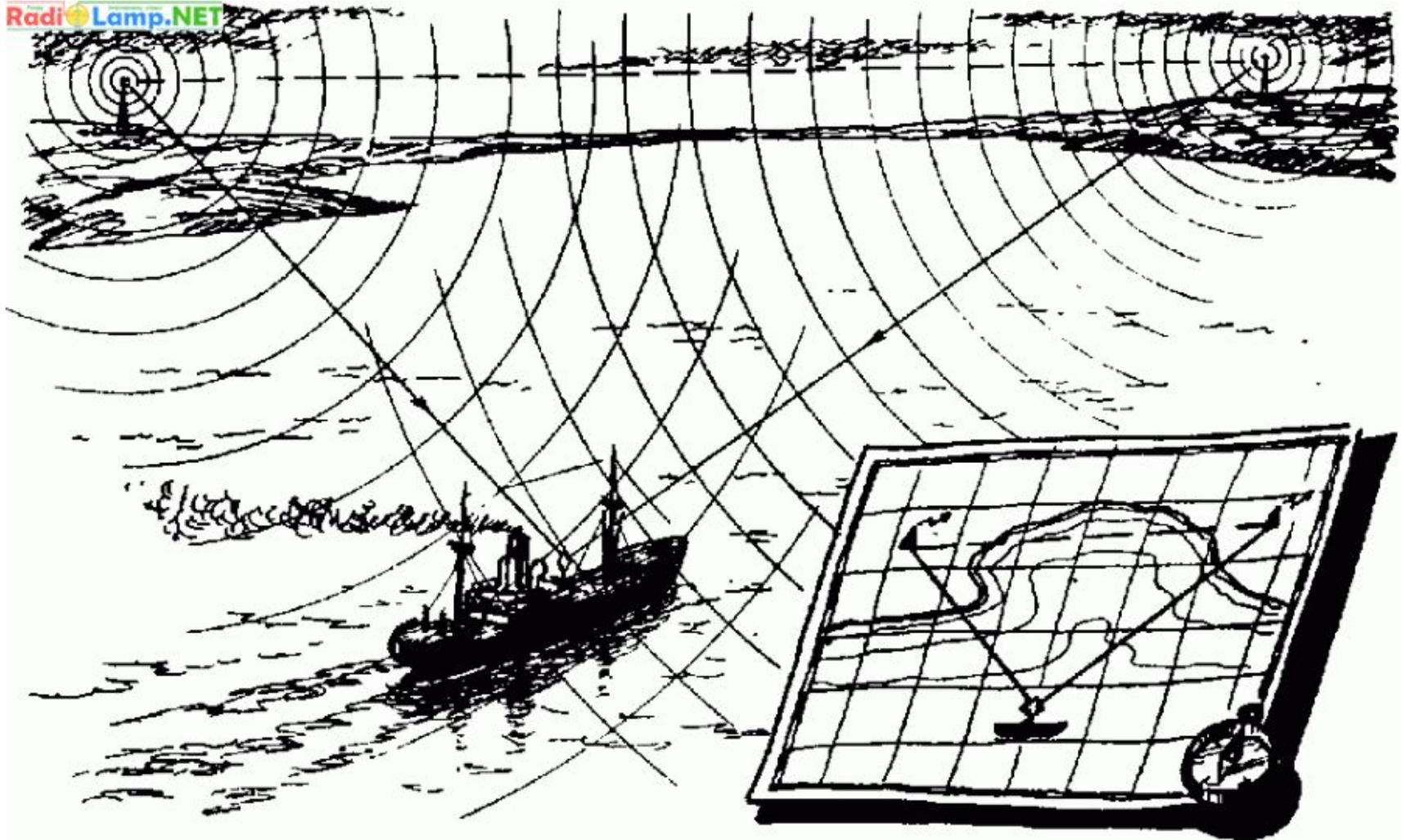
Дальность действия 180 км

Длина волны от 800 до 1000 м

Скорость вращения 1 об/мин

Ошибка определения пеленга 1 – 2 град.

# Ненаправленные радиомаяки и корабельные радиопеленгаторы .



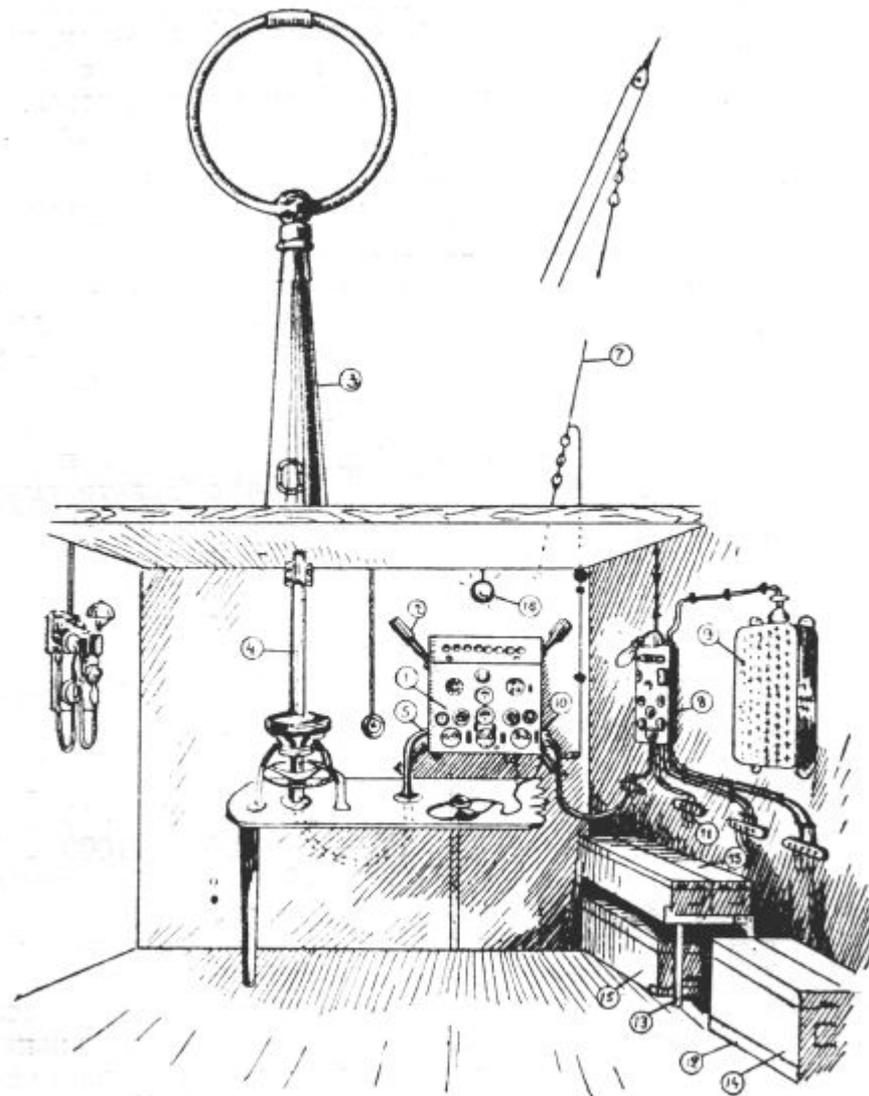
**1907г.** – в США сооружен первый ненаправленный радиомаяк. Для определения пеленга требовались корабельные радиопеленгаторы.

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.



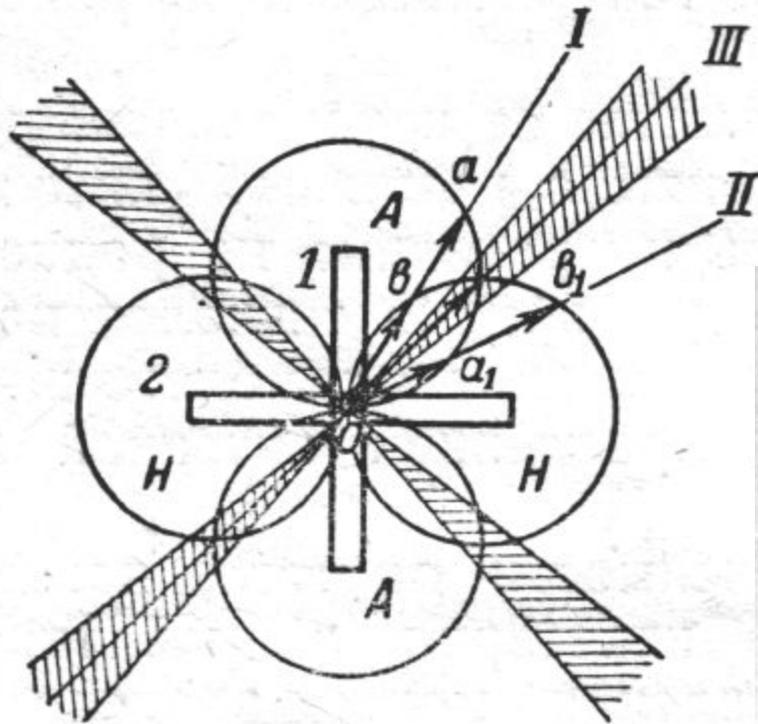
Корабельный радиопеленгатор

# Самолетная радиопеленгация

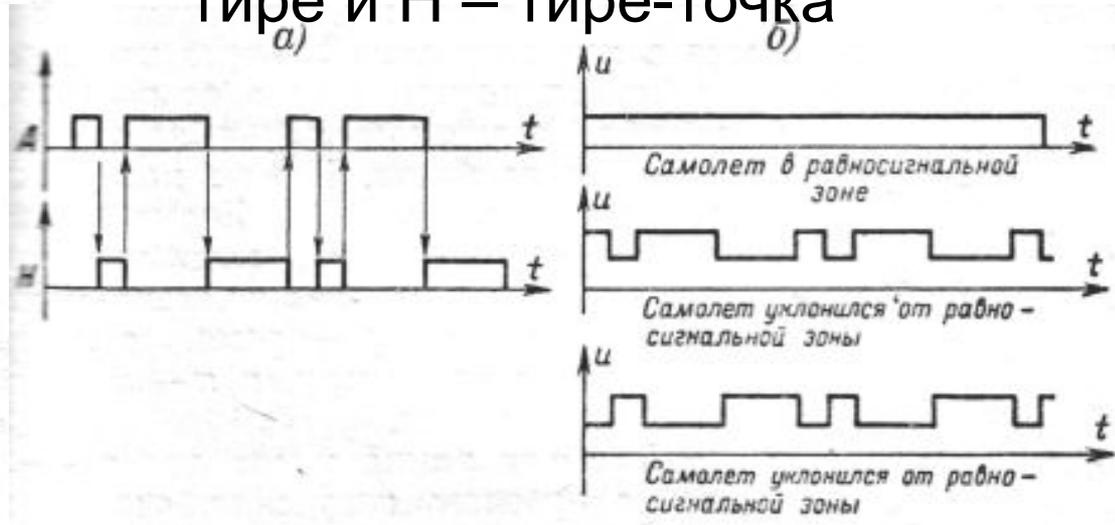
## Четырехкурсовой радиомаяк

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.

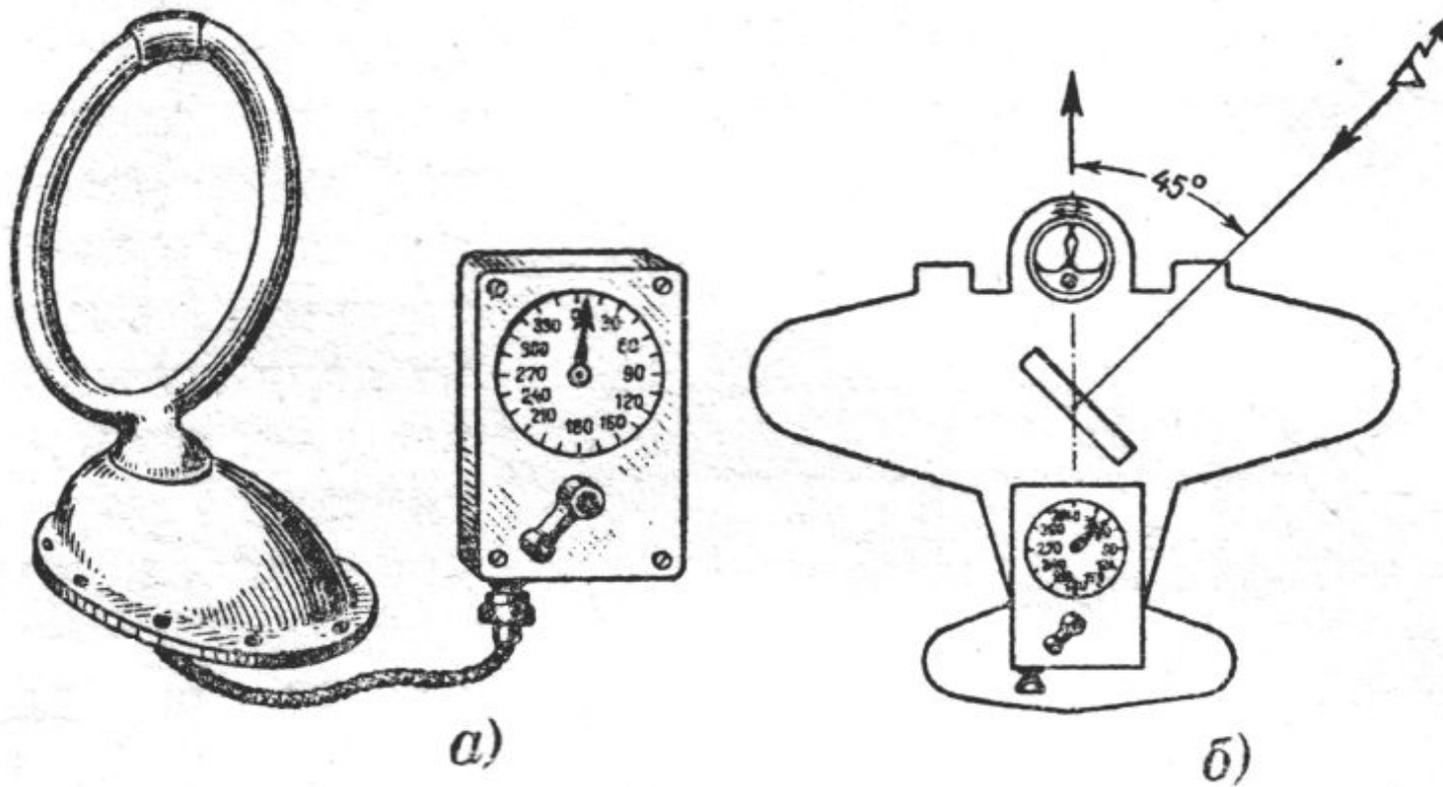
Во второй половине 30-х годов четырехкурсовые радиомаяки стали заменяться самолетными радиопеленгаторами (радиокомпасами), работающими с ненаправленными радиомаяками.

**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.

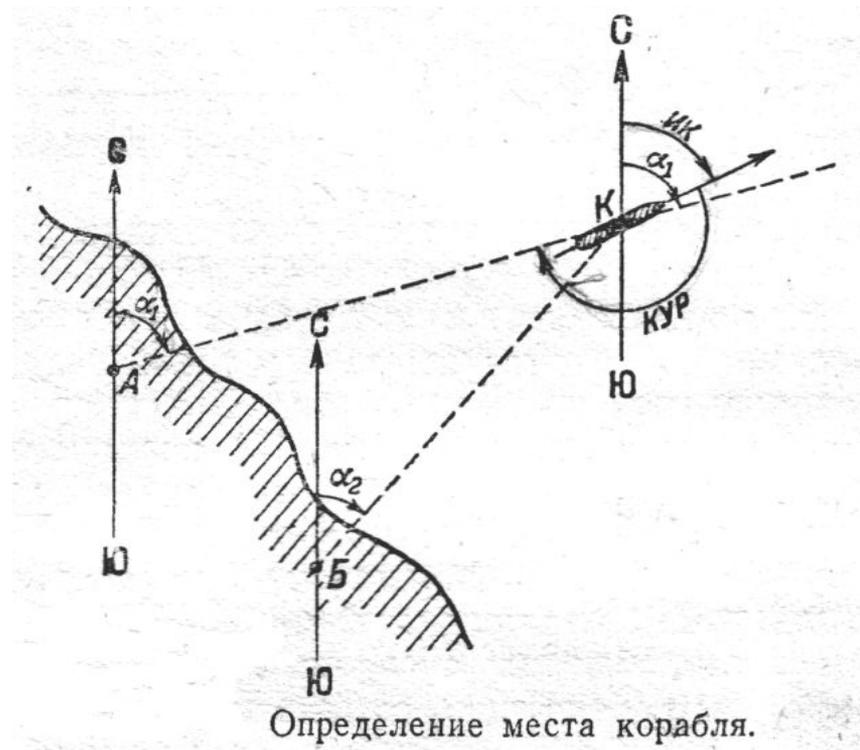
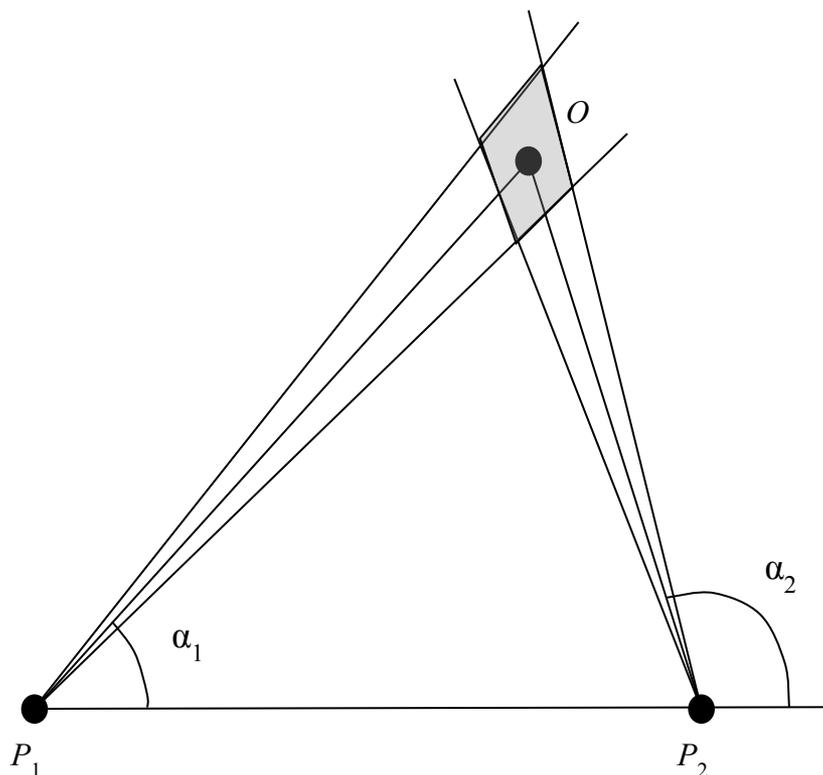
# РАДИОНАВИГАЦИЯ

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.

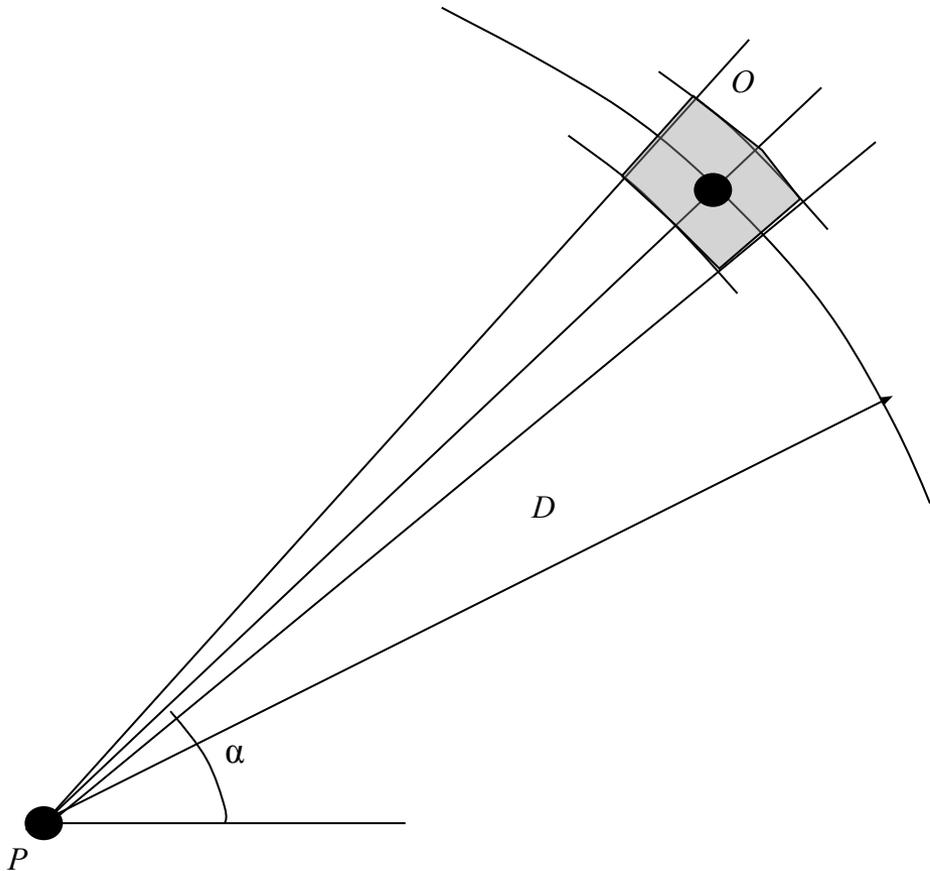
# МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

## 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

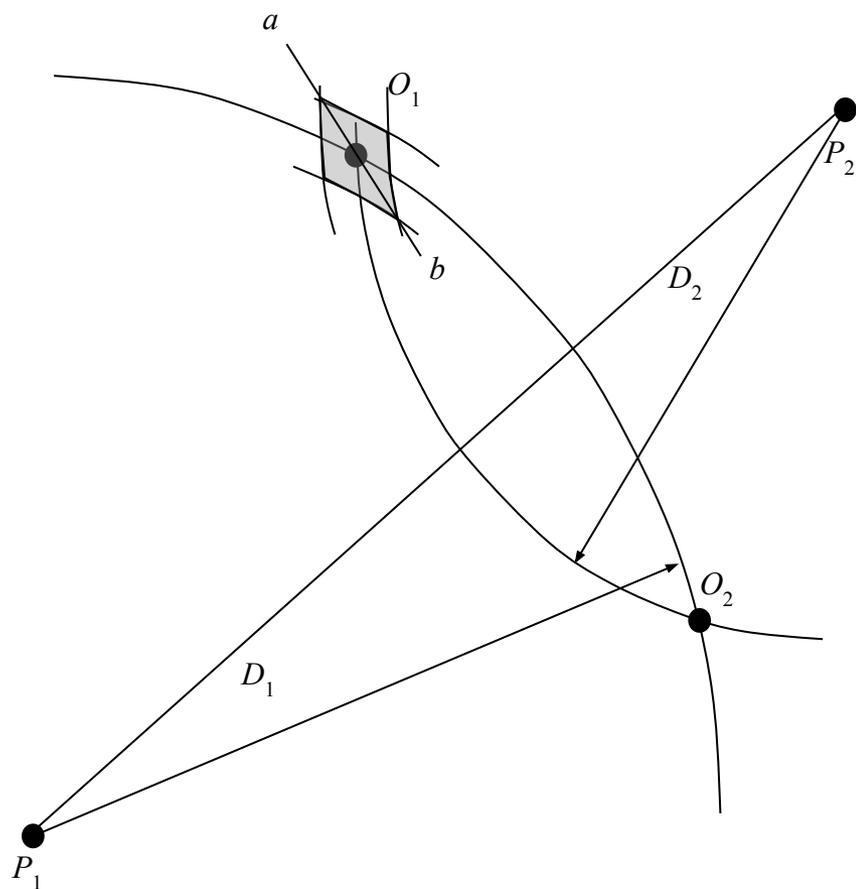


Совмещенные  
радиомаяк  
азимутальный  
РМА-90 и  
радиомаяк  
дальномерный  
РМД-90



Антенная система VOR/DME

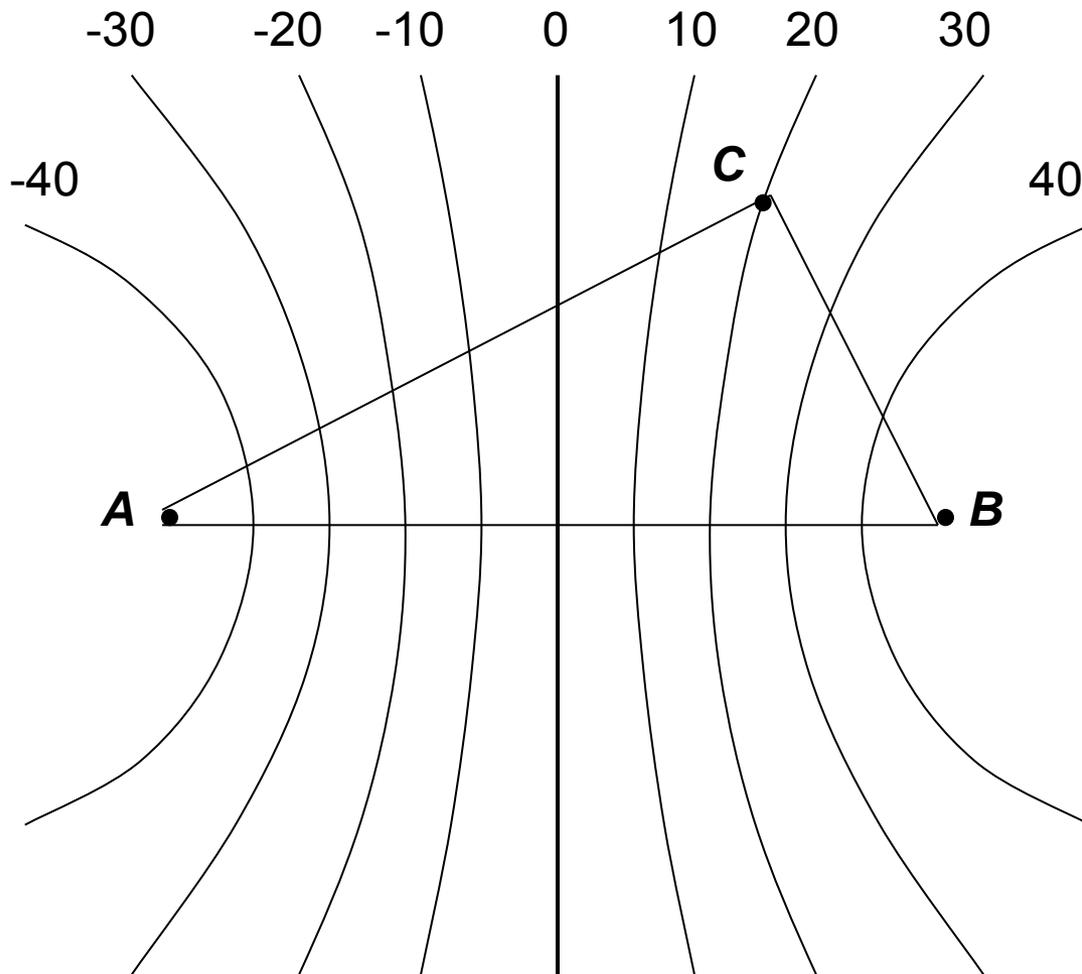
# Дальномерный



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

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

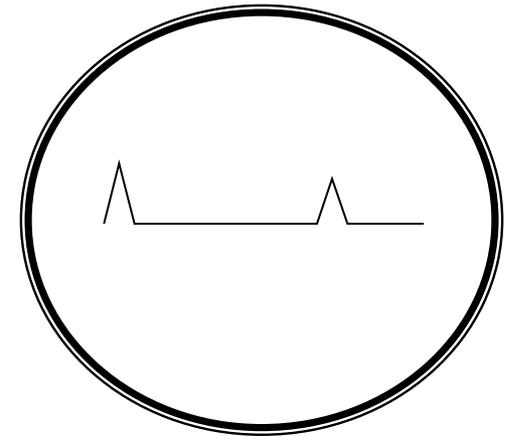
# Разностно-дальномерный



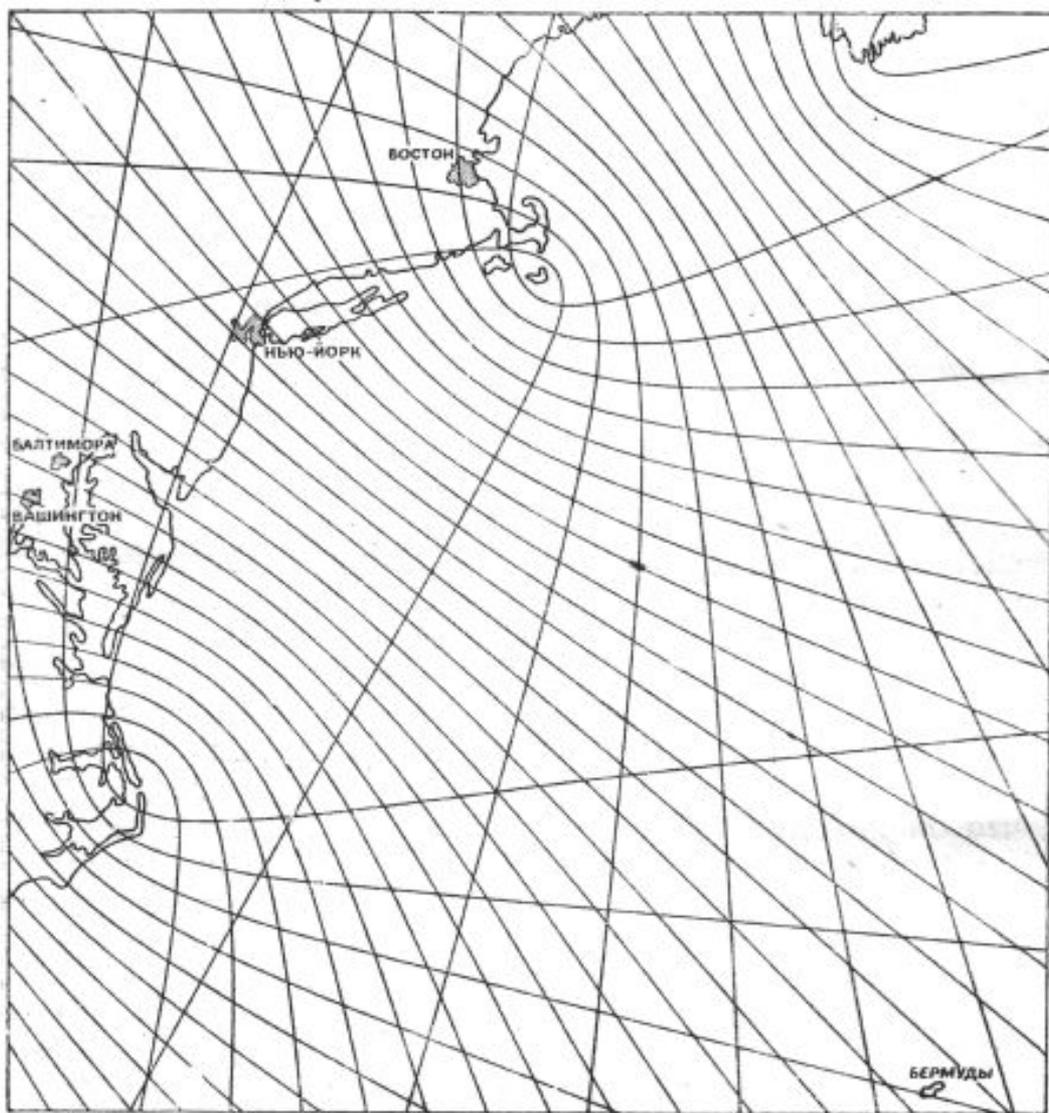
**A** – ведущая станция

**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

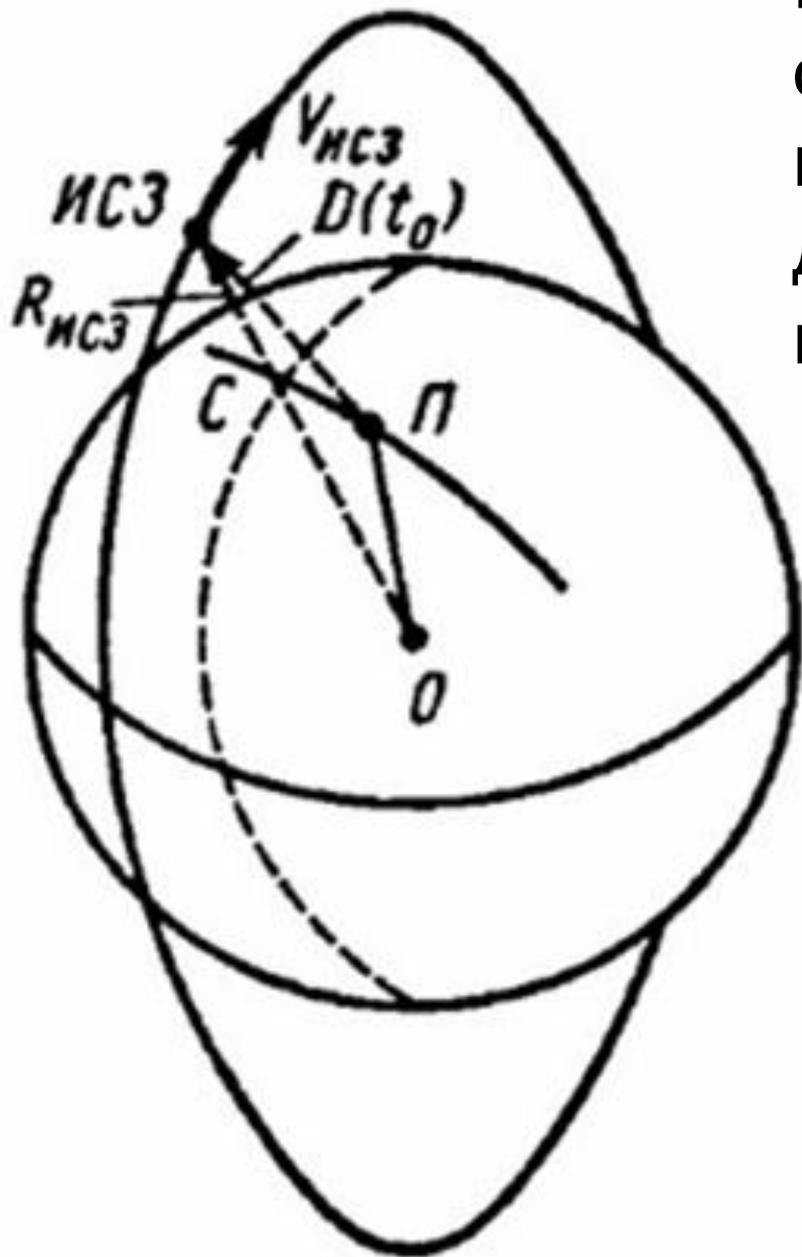
Точность до 100 м

# 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  $P$  рассчитывались по зависимости доплеровской частоты от времени

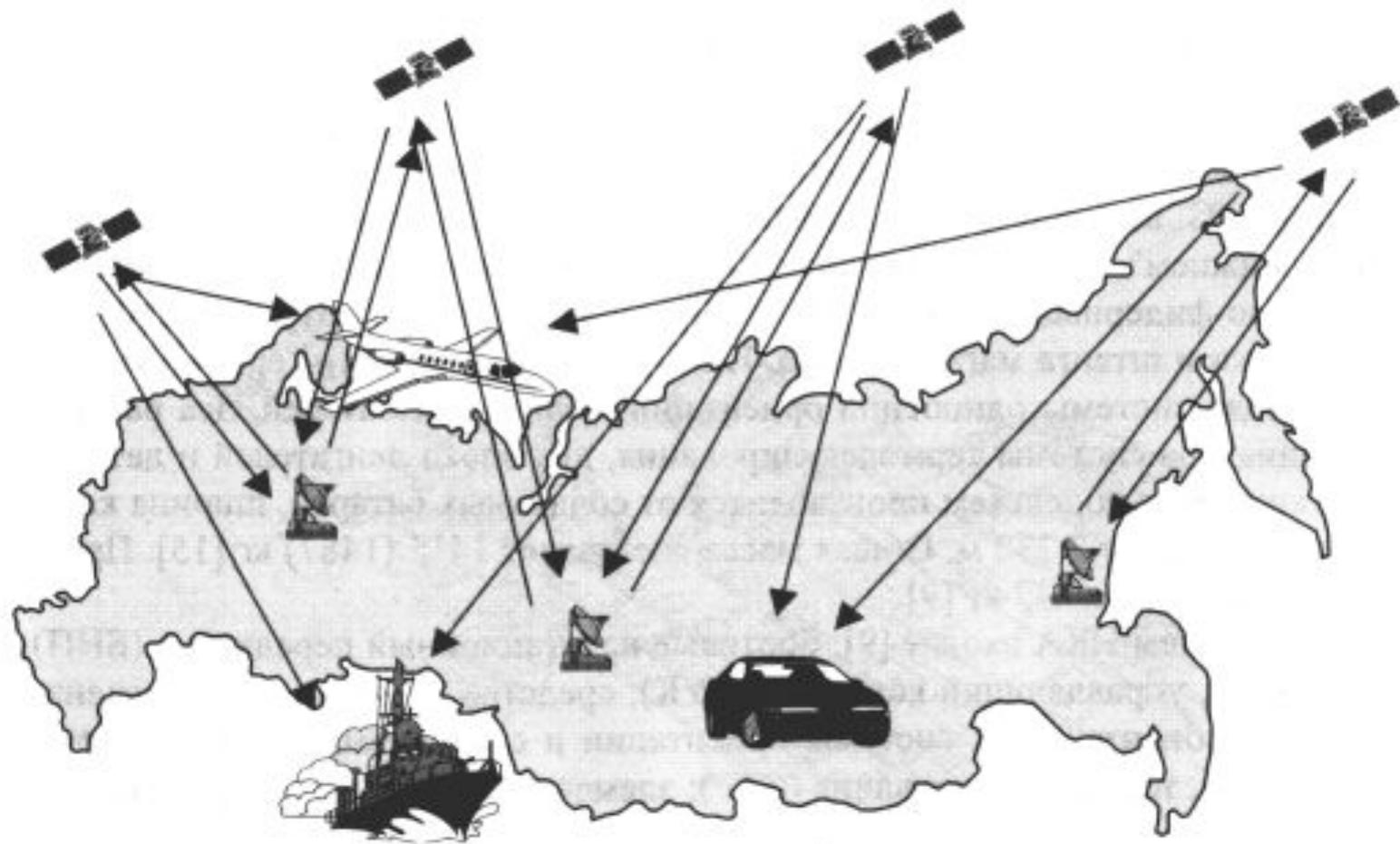
Недостатки:

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

# СРЕДНЕВЫСОТНЫЕ СНС

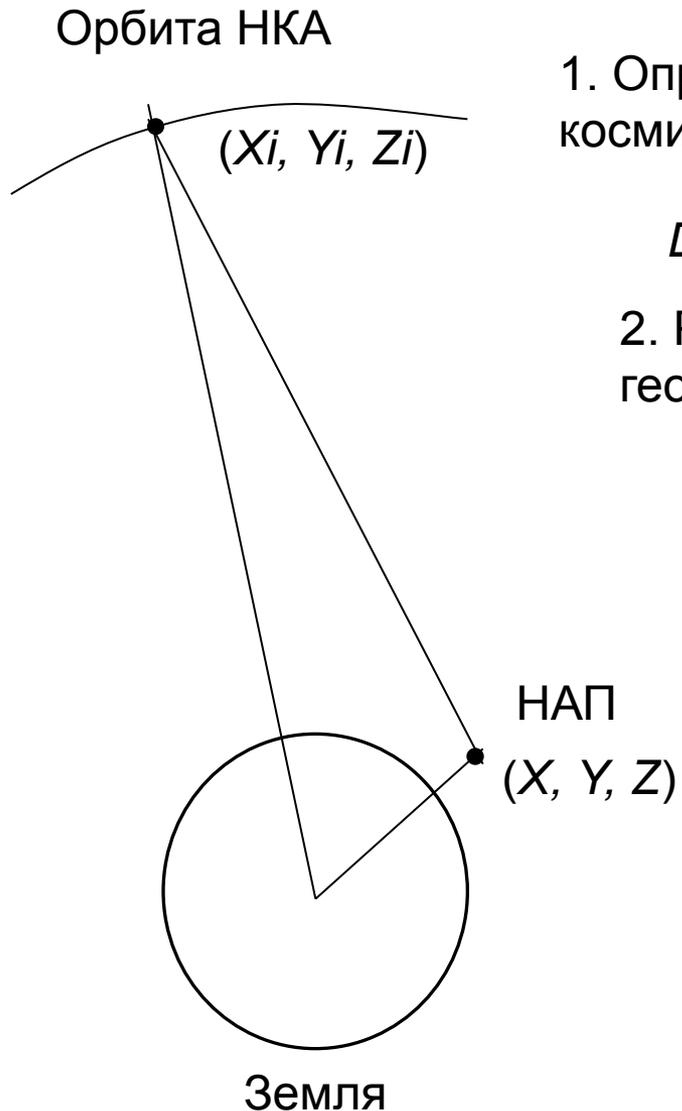
- 1973 г.** – начало работ по программе “NavStar-GPS” (США)
- 1982 г.** – начало работ по программе ГЛОНАСС (СССР)
- 1995 г.** – развертывание полной спутниковой группировки (24 ИСЗ) системы GPS
- 2005 г.** – запущен первый спутник европейской СНС Galileo

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



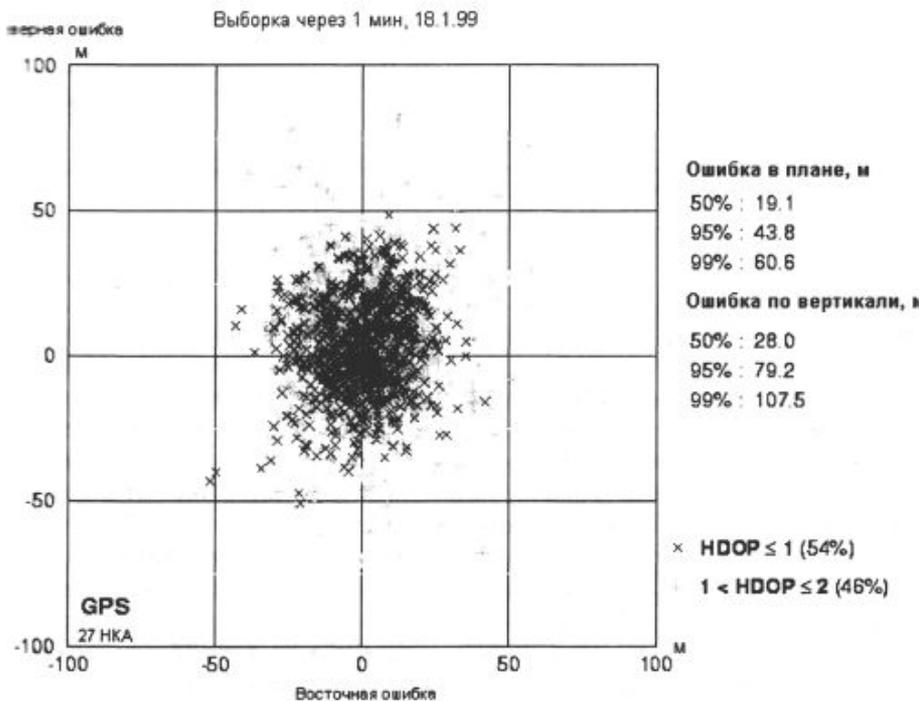
1. Определение псевдодадыности между навигационным космическим аппаратом (НКА) и пользователем (НАП)

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

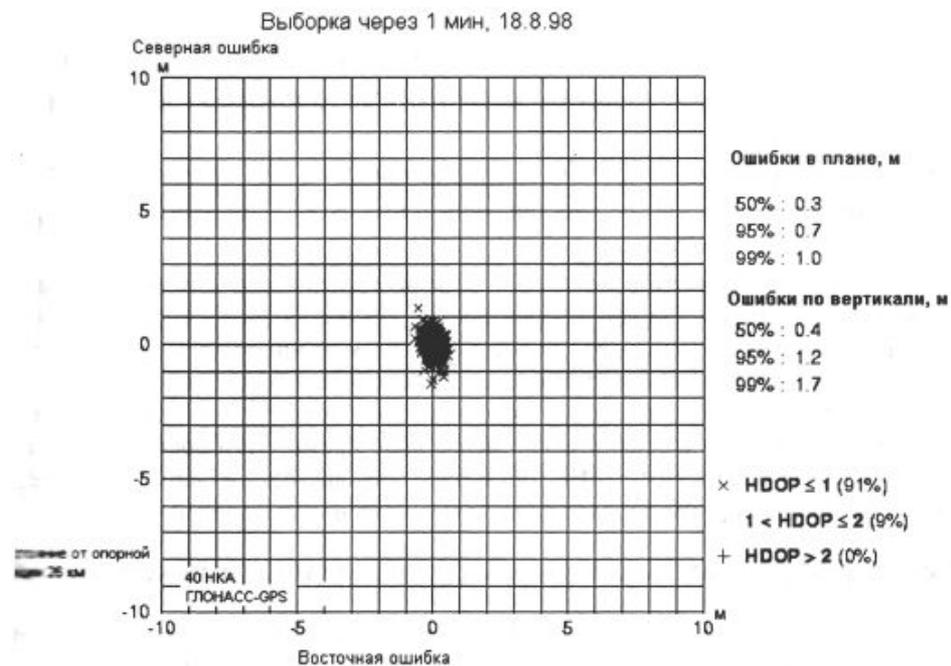
2. Расчет координат пользователя в прямоугольной геоцентрической системе координат  $(X, Y, Z)$

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

# ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

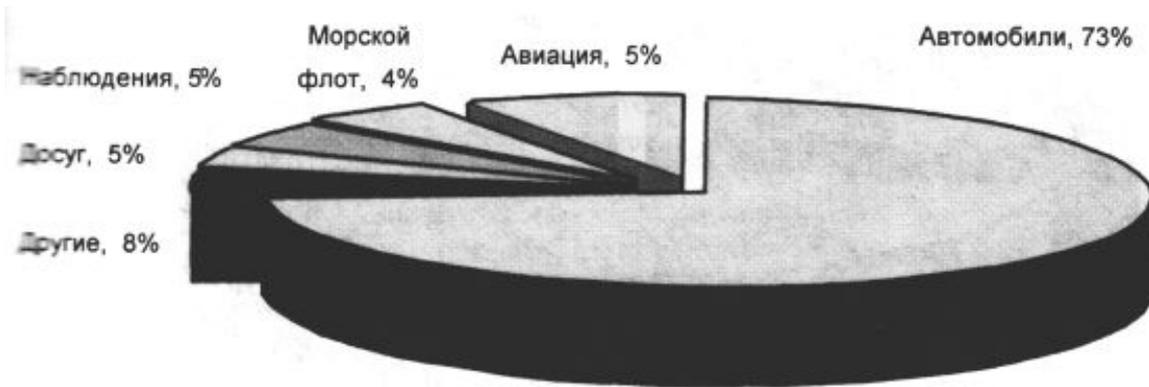


Ошибки местоопределения по системе GPS

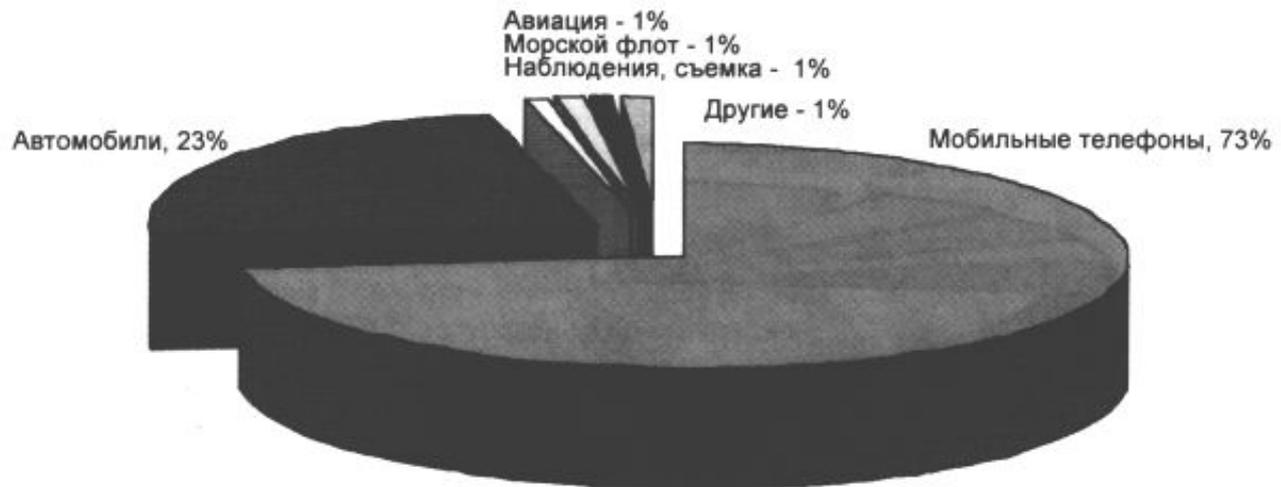


Ошибки местоопределения в дифференциальном режиме систем ГЛОНАСС/GPS

# ЕВРОПЕЙСКИЙ РЫНОК СРНС



Распределение европейского рынка СРНС 2000 г



Распределение европейского рынка СРНС, 2005 г.