

# **Математическое моделирование РТУ и С**

## **Лекция 3. Радиоустройства и системы**

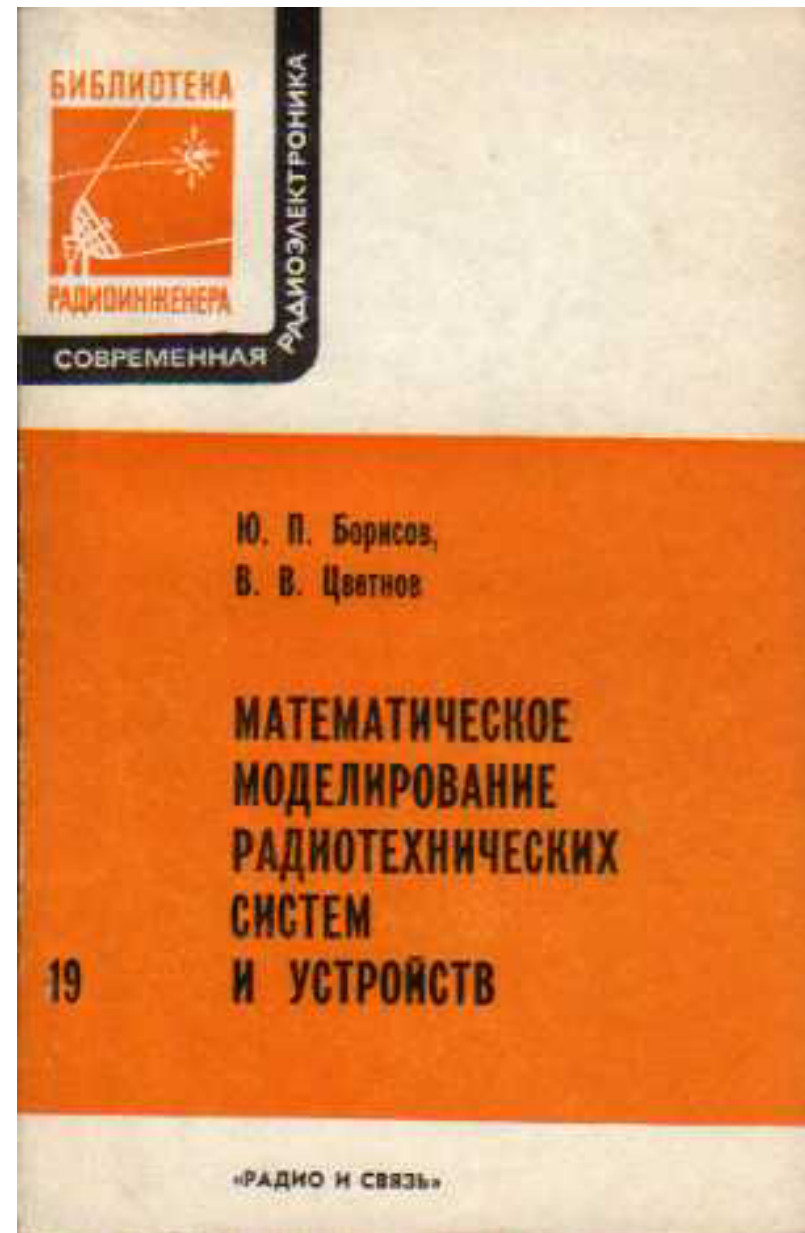


Преподаватель:  
**Корогодин Илья**  
[korogodin@srns.ru](mailto:korogodin@srns.ru)

# Литература

Борисов Ю.П., Цветнов В.В.  
Математическое  
моделирование  
радиотехнических систем и  
устройств. - М.: Радио и  
связь, 1985. 176 с.

- общая классификация РТС;
- декомпозиция РТС



# Радиосистемы

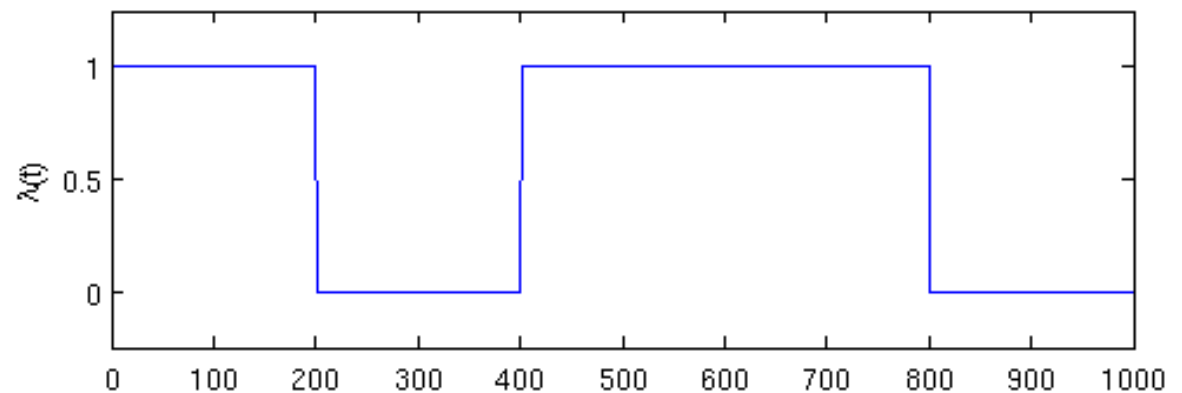
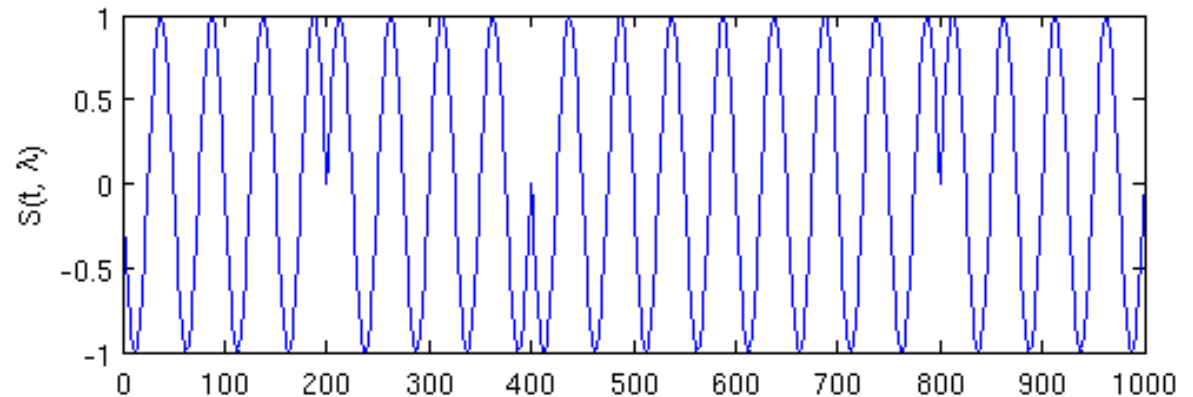
**Радиосистема** – совокупность технических средств, в которой при обмене информацией между частями используются радиосигналы

$$s(t, \lambda(t))$$

в форме свободного  
электромагнитного поля,

способные переносить  
информационные процессы

$$\lambda(t)$$



# Радиосистемы

Главными движущими силами развития радиотехники выступили:

- потребности военной техники;
- мощные научные проекты, определяющие престиж страны;
- потребность в доставке четвертой власти и зрелищ;
- внедрение технологий первой группы в массы.

XX век – век бурного развития радиотехники. Радиофакультет и ОКБ МЭИ играли в нём одну из ведущих ролей. Котельников, Богомолов, Рязанский – главные действующие лица советской эпохи, за которыми стояли огромные коллективы наших выпускников.





# Системы передачи информации

Функция **СПИ** – передать **сообщение**:

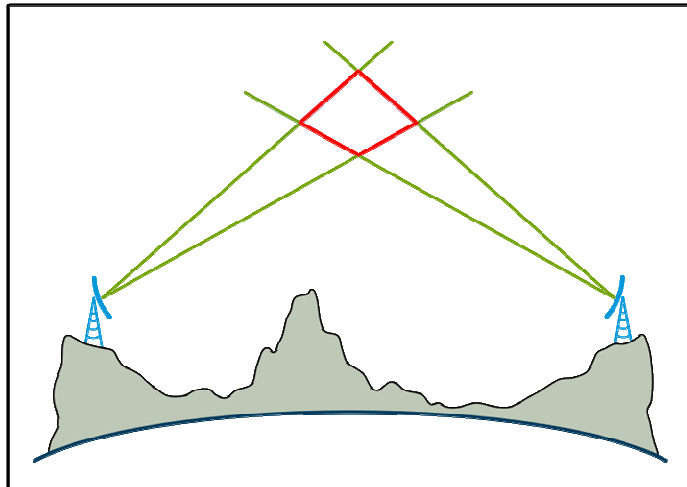
- радиотелеграммы (с 1900-х);
- аналоговые радиостанции (с 1920-х);
- радиовещание (с 1920-х);
- телеметрия;



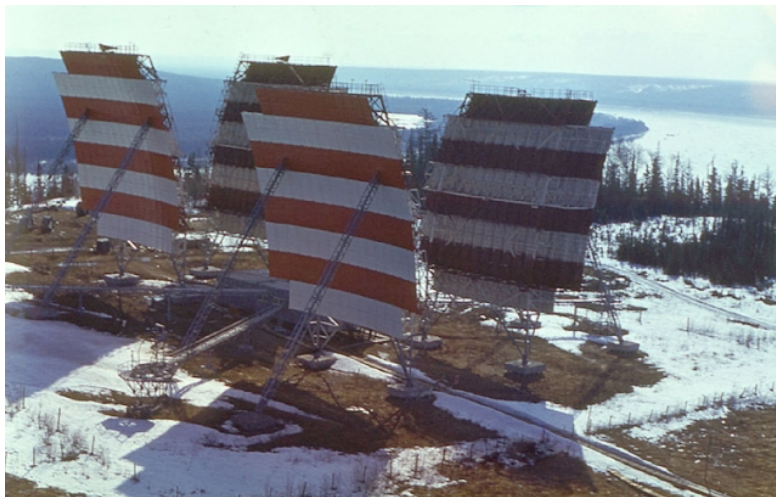
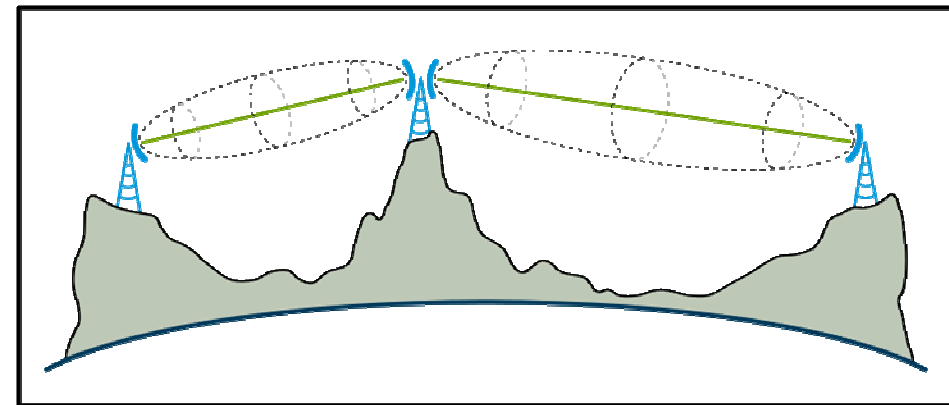
# Системы передачи информации

- радиорелейная связь (с 1930-х);

тропосферная



прямой видимости



# Системы передачи информации

- телевидение (с 1930-х);

аналоговое



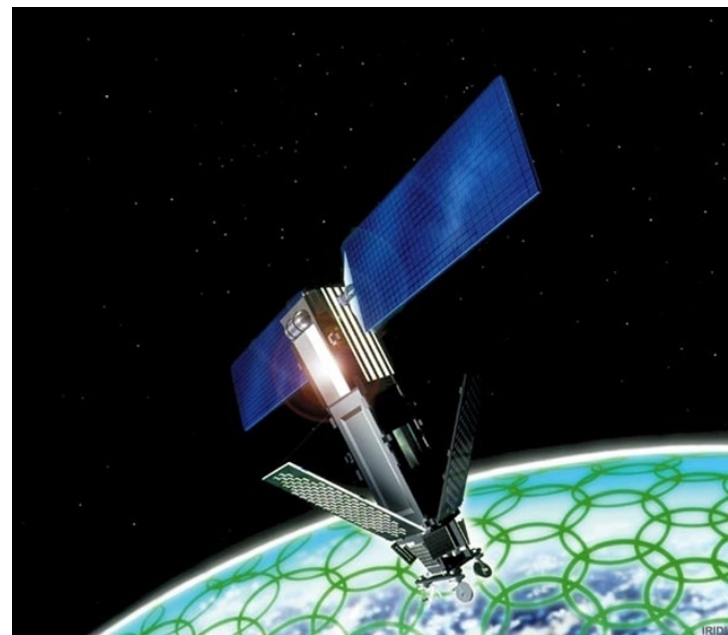
цифровое



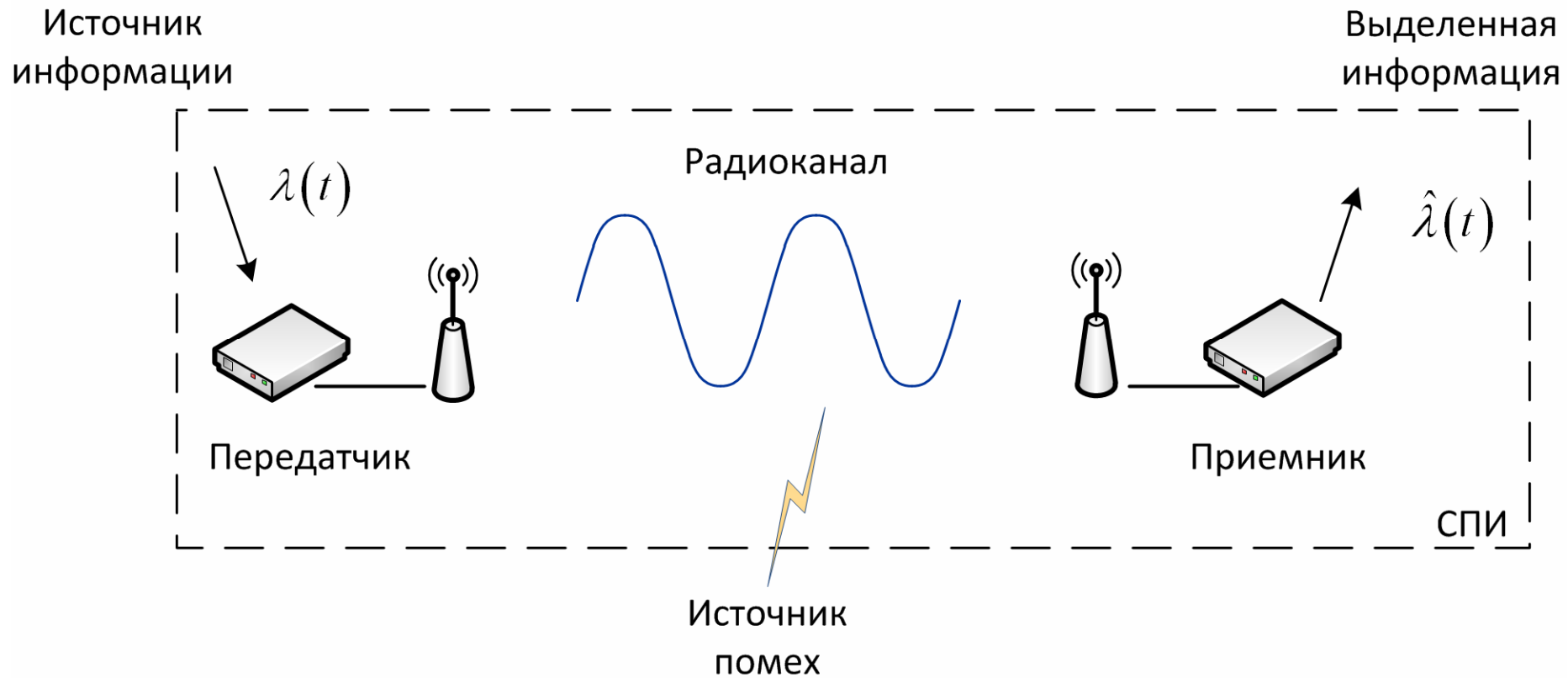


# Системы передачи информации

- спутниковая связь (с 1960-х);
- сотовая связь (с 1970-х);
- беспроводные сети (с 1990-х).



# Обобщенная схема СПИ





# Радиолокационные системы

Функции **РЛС** – обнаружить объект, оценить его положение, скорость, размеры, форму.

Первые «серийные» образцы – с 1930-х, в Союзе с 1936 года.

Первая опытная установка – 1934 год, с крыши дома Красноказарменная, 14

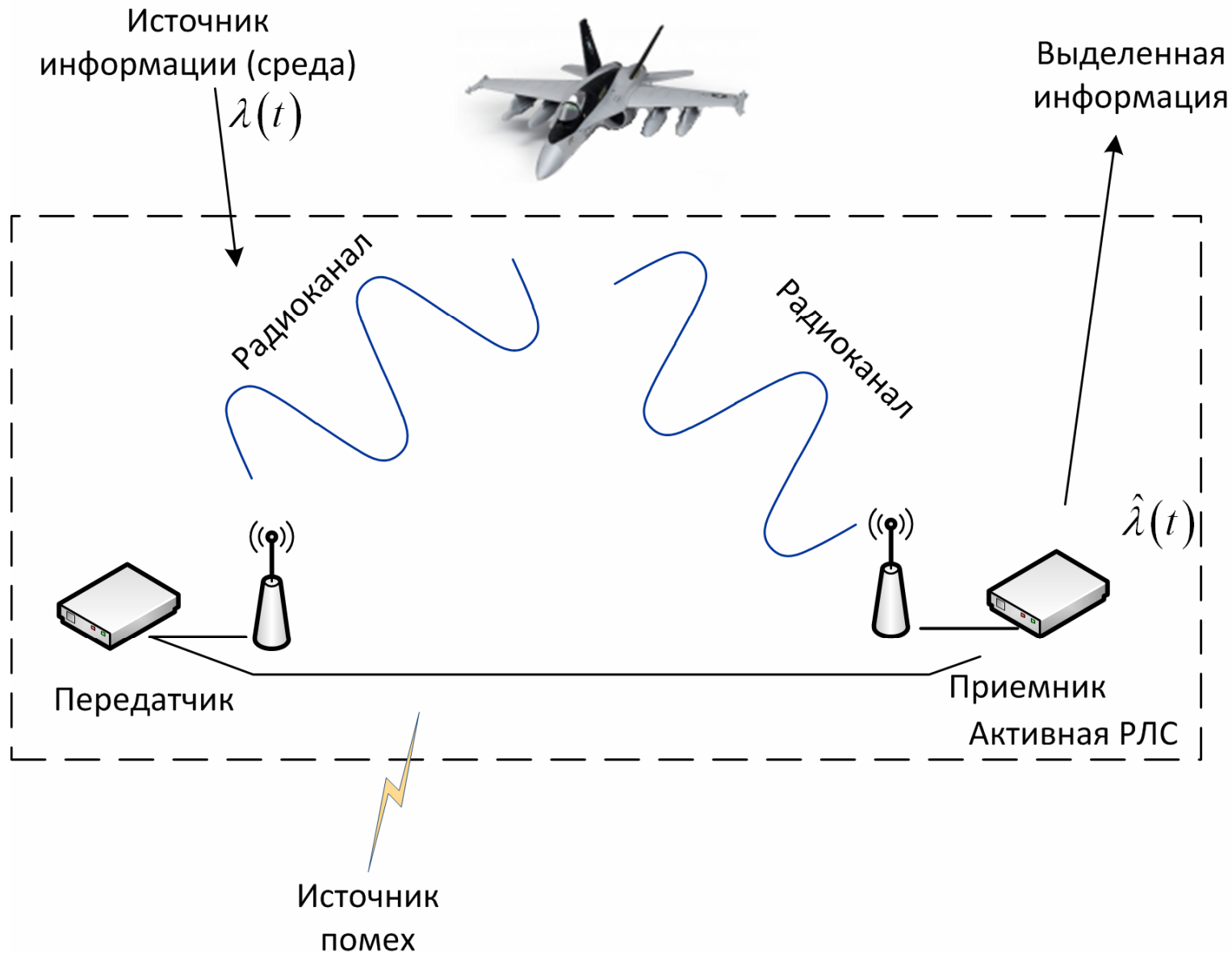
Во время войны направление возглавлял А.И. Берг (тот самый), далее важны Богомолов, Котельников

В послевоенное время соответствует одному из Главных управлений:

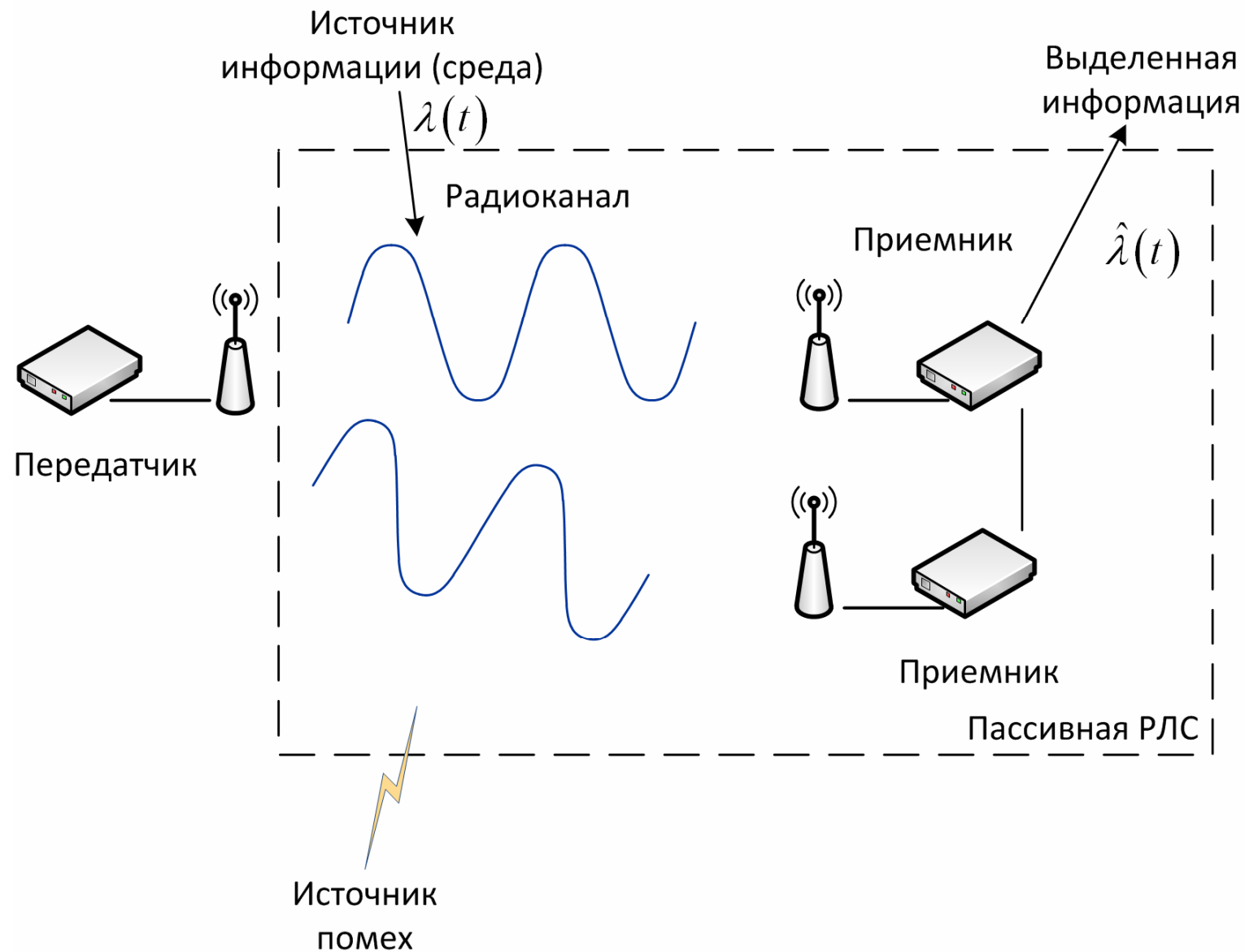
1. Ядерное оружие (пред. Ванников, Курчатов)
2. Ракетная техника (пред. Маленков)
3. Радиолокация (пред. Маленков)



# Обобщенная схема РЛС



# Обобщенная схема РЛС

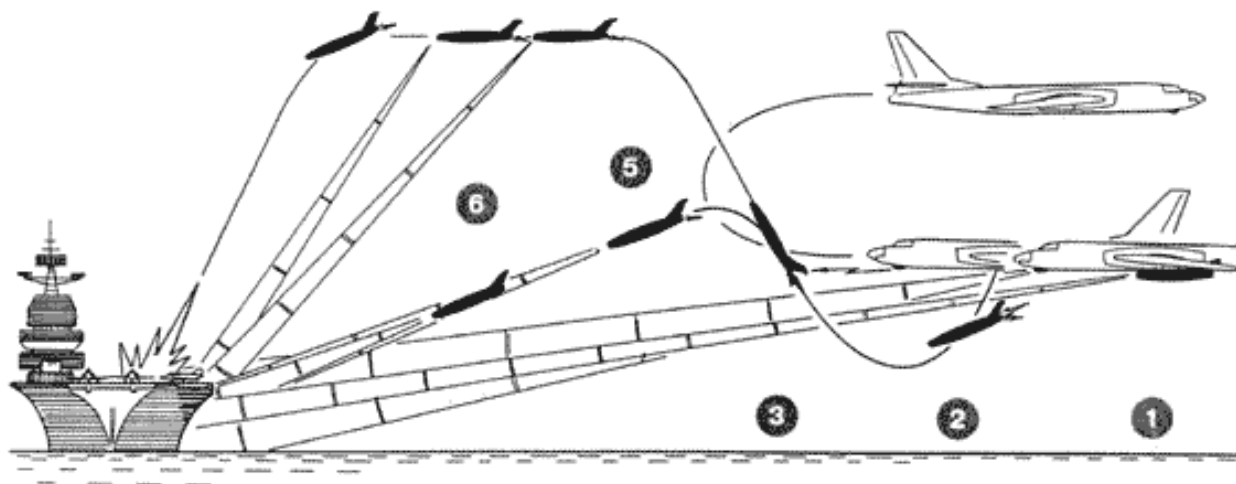


# Системы радиоуправления

Функция **PCY** – выдавать команды объекту на расстоянии.

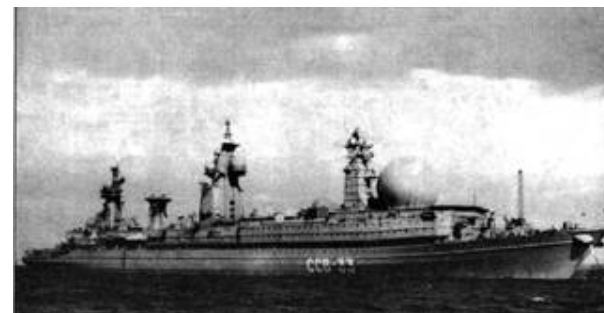
Исторически закрывала потребность управления снарядами, особенно во времена несовершенства автономных систем навигации.

Основное действующее лицо – Рязанский (НИИ-885, более известный как РКС или РНИИ КП)



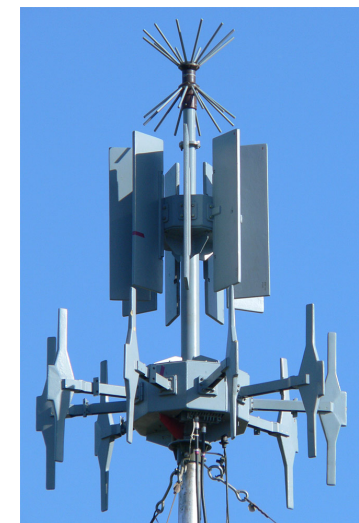
# Радиоэлектронная разведка

**РЭР** обеспечивают обнаружение радиосигналов, излучаемых различными радиосредствами, анализ и измерение их параметров, определение положения источника, выделение передаваемого сообщения.



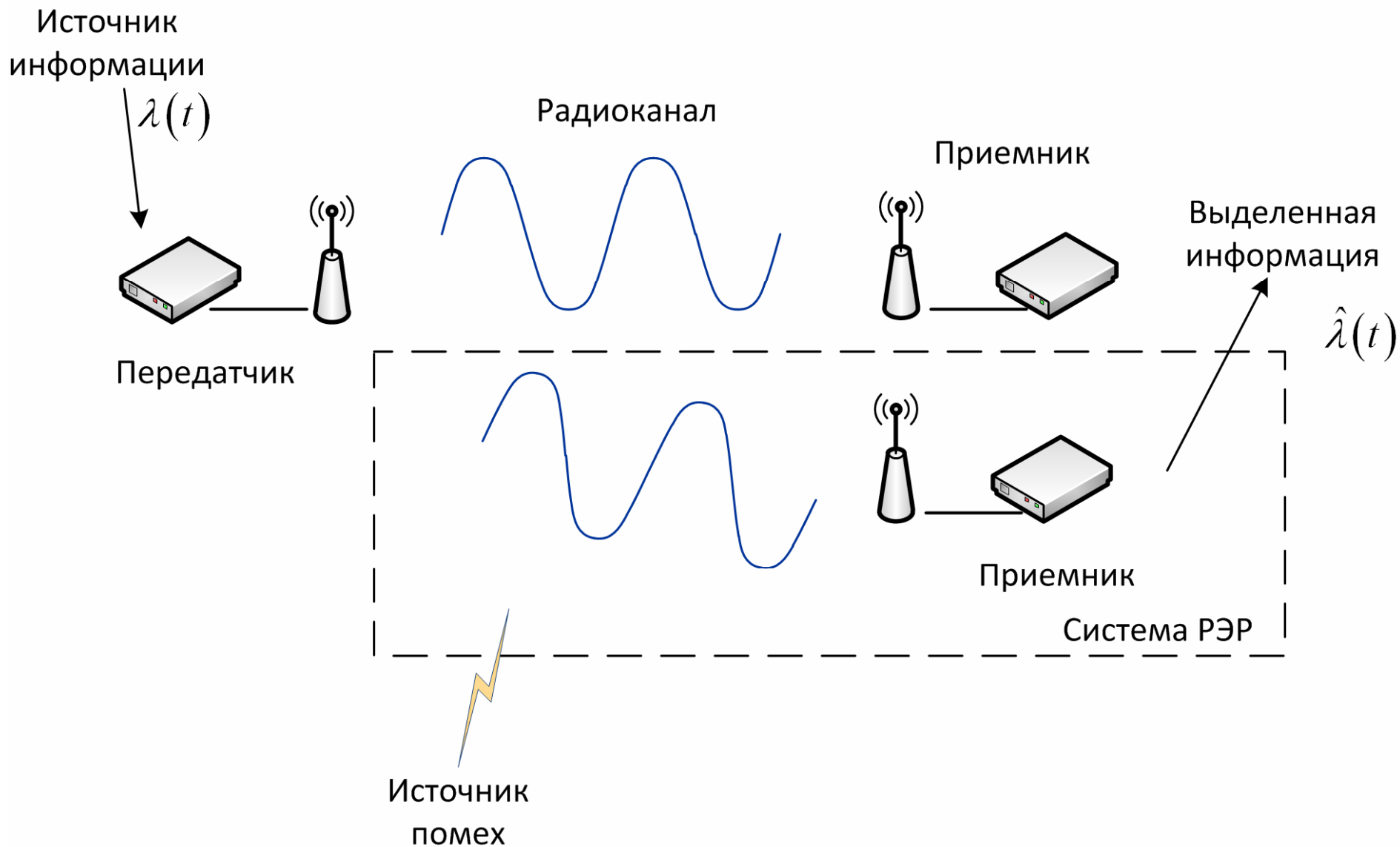
Зарождение России в 1904 году – запись неприятельских радиограмм.

За нынешним состоянием дел - идти работать в службы из трех букв или ПВО.





# Обобщенная схема РЭР



# Радиоэлектронная борьба

Задача **РЭБ** – подавить или обмануть радиосредства противника.

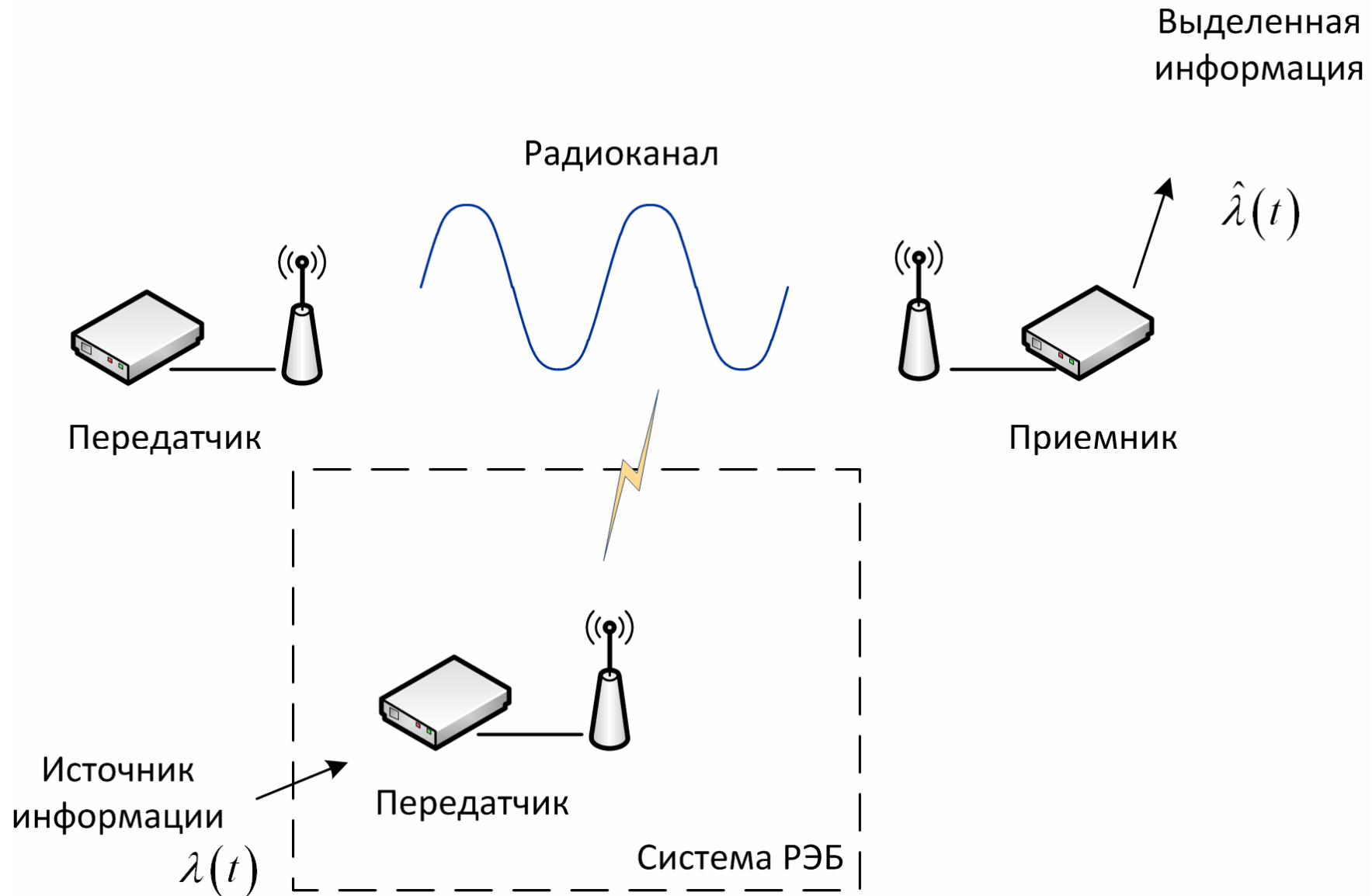
Первое применение нашими войсками – 1904 год.

Роль всё больше возрастает – ответ на развитие ВТО.

Перспективные направления – имитационные помехи, ЭМ оружие



# Обобщенная схема системы РЭБ



# Радионавигационные системы

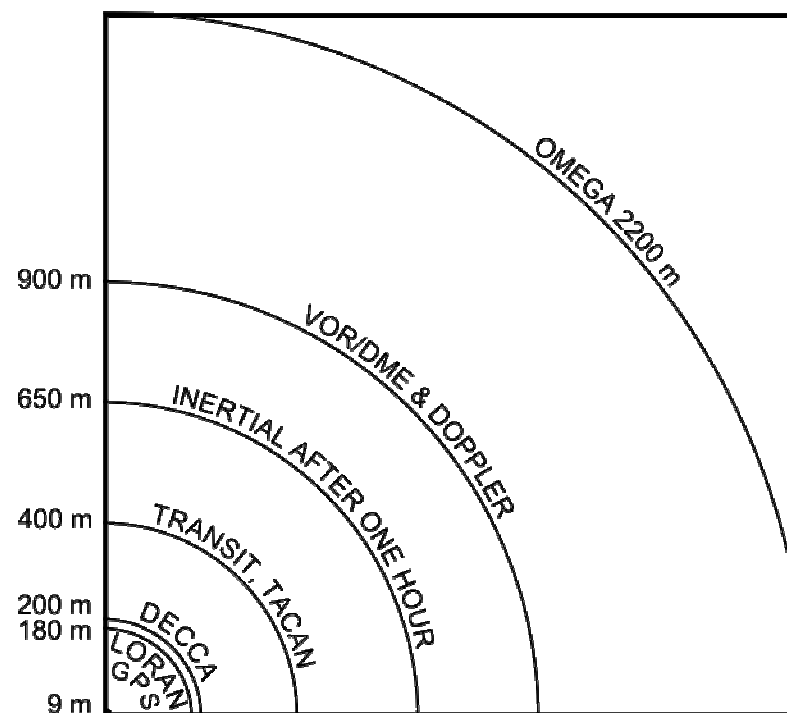
**РНС** позволяют определить положение, скорость и ориентацию носителя, а также обеспечить его точным временем.

Локальные – с 1930-х;  
глобальные – с 1950-х;  
спутниковые – с 1960-х.

Изначальная цель - обеспечить всепогодное и ночное применение авиации



ACCURACY OF NAVIGATION SYSTEMS  
(2-dimensional)





# Радионавигационные системы

Наземные радионавигационные системы

- ОНЧ (Omega, RSDN-20 «Альфа»)

НЧ (Loran-C, Чайка, Деcca, Consol)

...

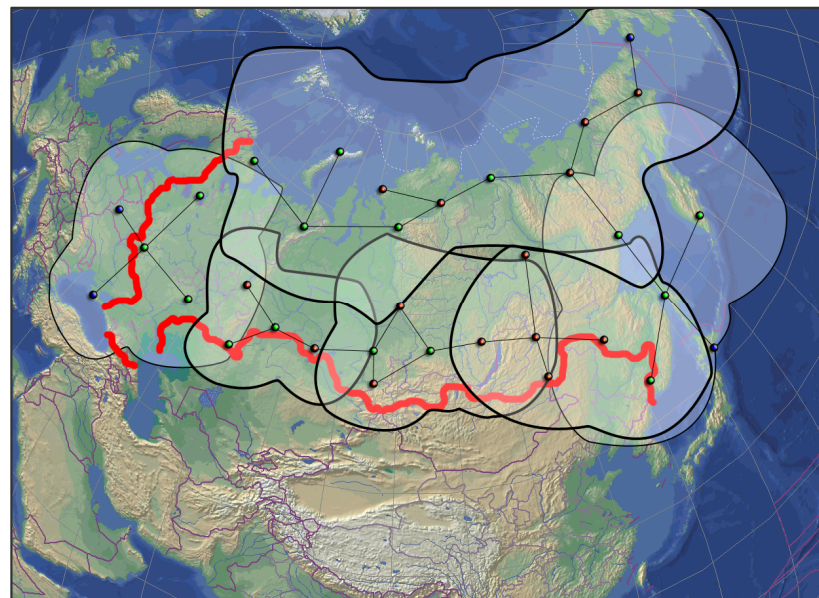
Частоты – десятки/сотни кГц

Антенны – сотни метров

Мощности – сотни кВт

Точность – сотни/тысячи метров

Дальность – тысячи километров





# Радионавигационные системы

Наземные радионавигационные системы

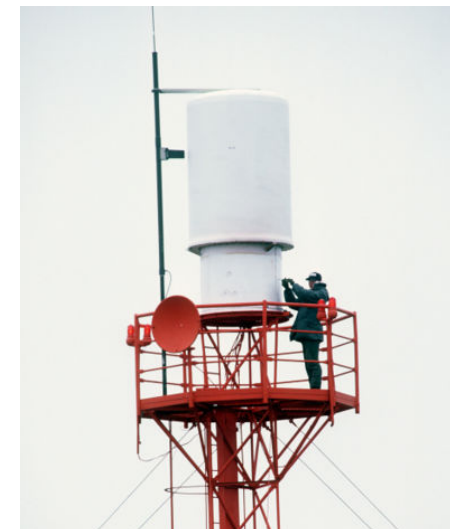
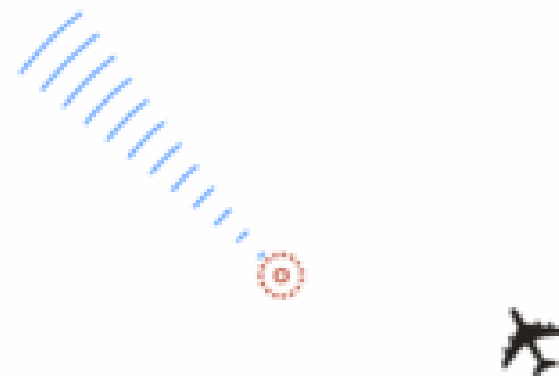
...

-ДМВ (VOR/DME, TACAN, РСБН)

Локальные РНС. Содержат два канала:

- канал измерения азимута;
- канал измерения дальности.

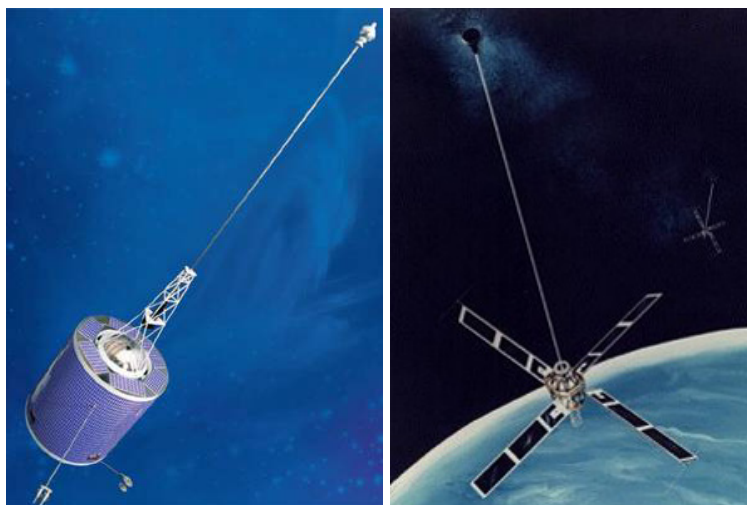
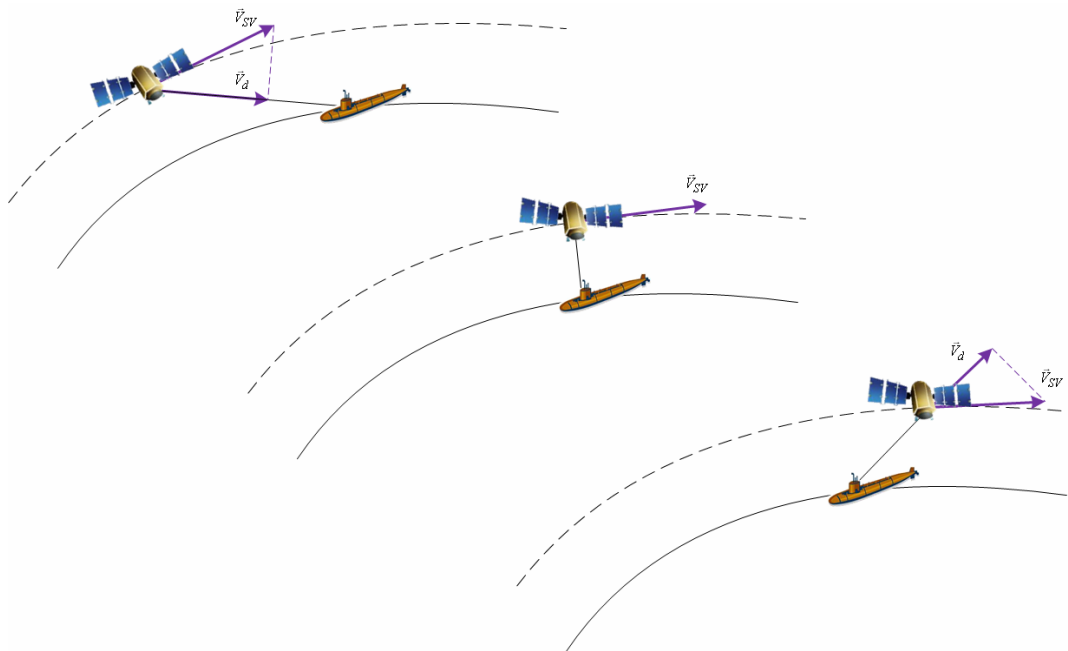
Точность – сотни метров.



# Радионавигационные системы

В 1950-х остро встала проблема навигации подводных лодок с баллистическими ракетами.

Первое поколение СРНС (Transit, Циклон, Цикада)



March 2, 1965

F. T. McCLURE

3,172,108

METHOD OF NAVIGATION

Original Filed May 12, 1958

5 Sheets-Sheet 1

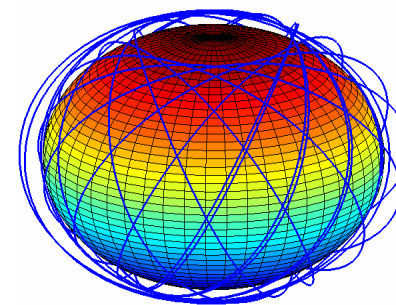
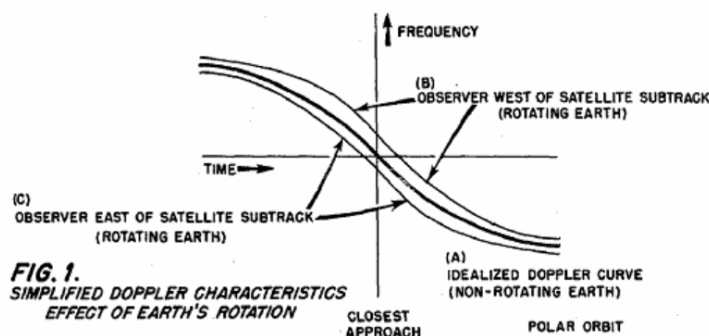
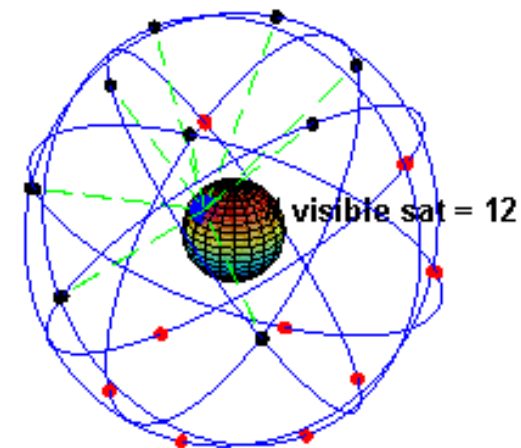
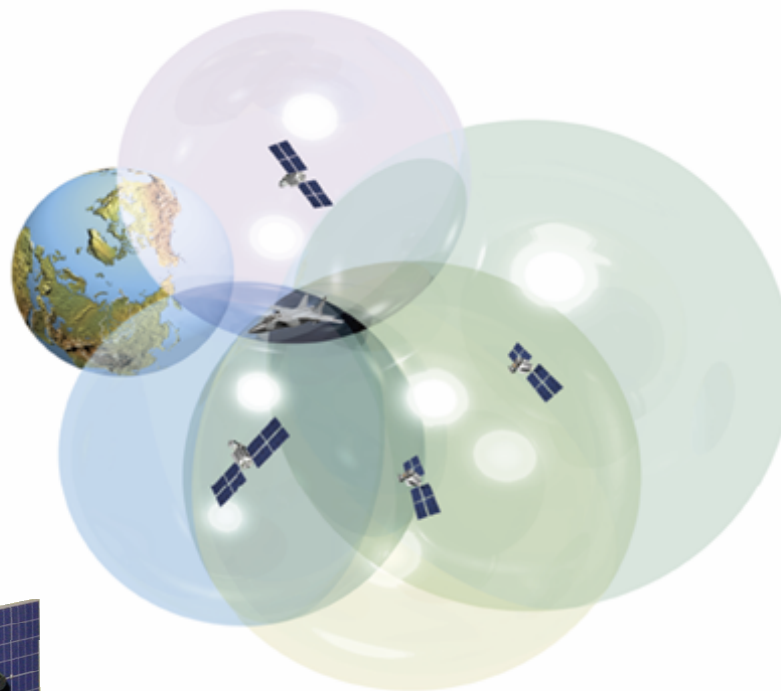


FIG. 1.  
SIMPLIFIED DOPPLER CHARACTERISTICS  
EFFECT OF EARTH'S ROTATION

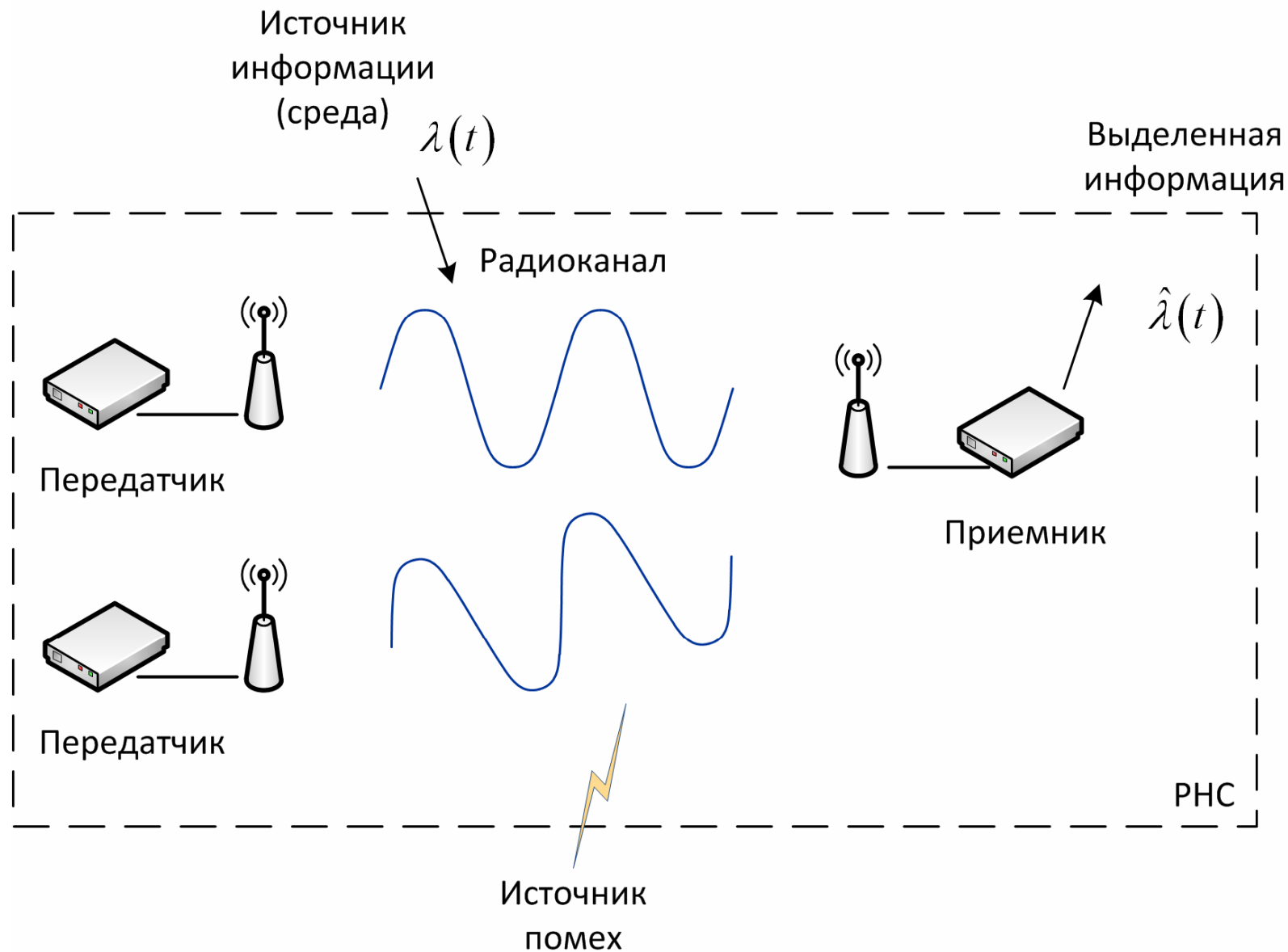
# Радионавигационные системы

Сейчас навигационные системы – основа высокоточного оружия.

Второе поколение СРНС (GPS, ГЛОНАСС)



# Обобщенная схема РНС





# Классификация радиосистем

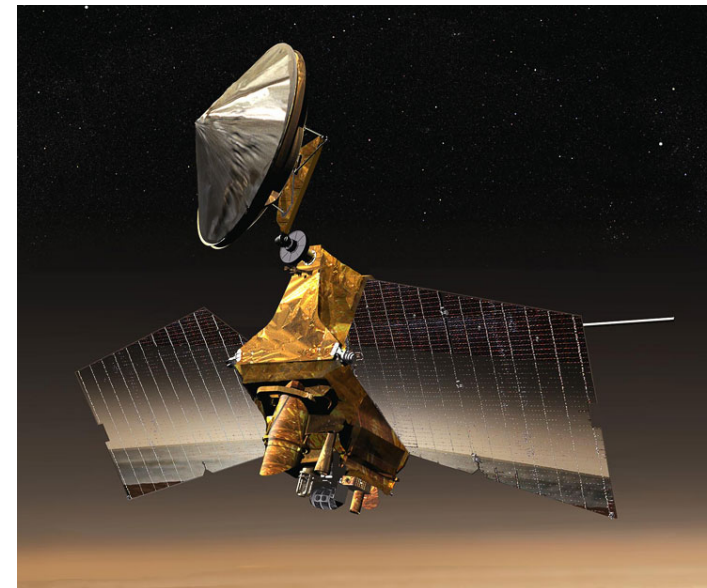
Итого, по функциональному назначению выделяют следующие типы радиосистем:

- системы передачи информации (СПИ);
- радиолокационные системы (РЛС);
- системы радиуправления (РСУ);
- системы радиоэлектронной разведки (РЭР);
- системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- радионавигационные системы (РНС).

Современные радиоэлектронные комплексы – объединение этих систем в разных пропорциях.

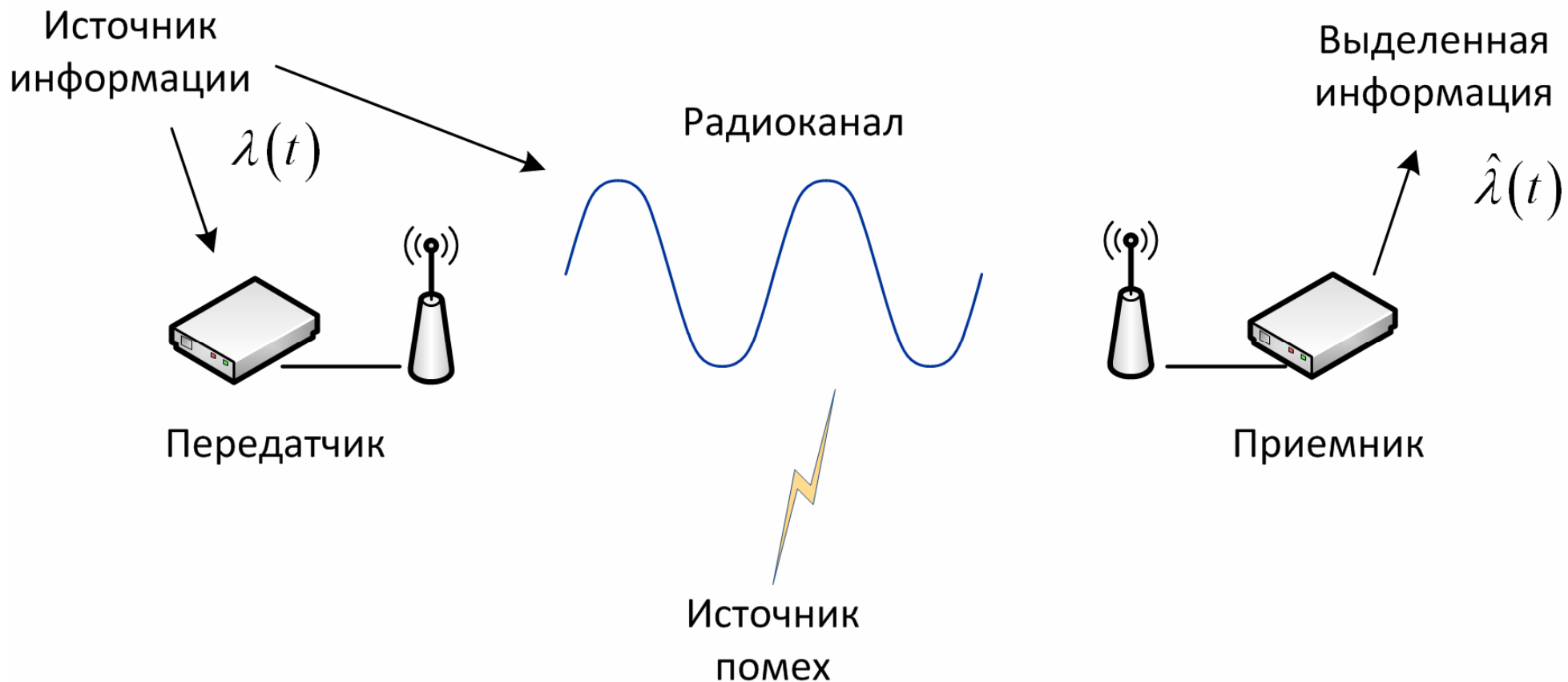
Радиосистемы – глаза, уши, язык современной техники.

Они - основной способ информационного взаимодействия техники со внешним миром.





# Обобщенная схема РТС



# Особенности моделирования РТС

## Проблемы:

- огромное число элементов и взаимосвязей;
- случайный характер воздействий;
- высокая скорость протекания процессов.

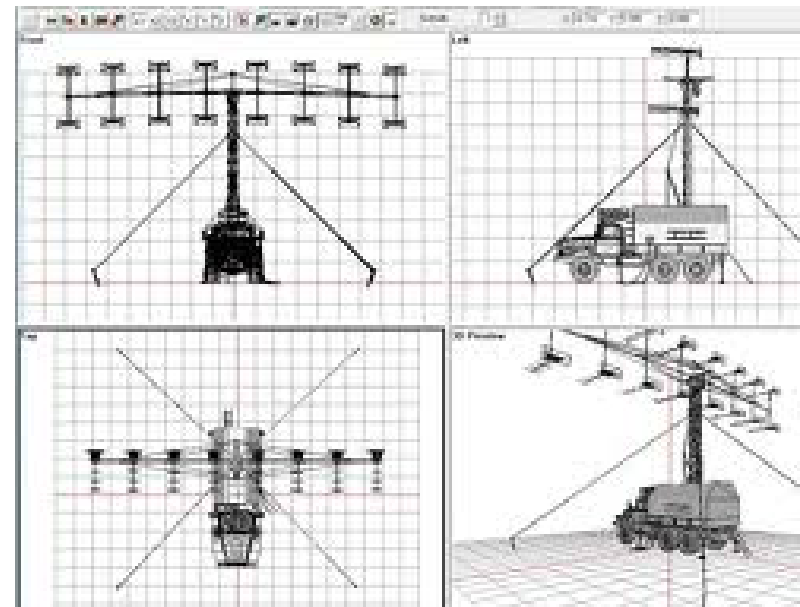
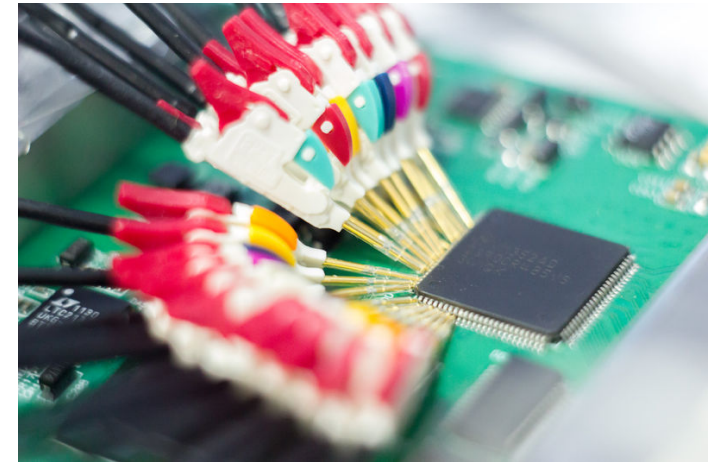
## Решение:

1) Минимизация сложности при фиксированном качестве:

- декомпозиция;
- оптимизация дискретизации
- оптимизация моделирования;
- минимизация прогонов модели.

2) Использование современных методов оптимизации, поиска решения и т.п.

3) Использование САПР и прочего специализированного ПО.



# Формальное описание РТС

На этапе постановки задачи проводится **неформальное** описание: вся совокупность сведений, достаточная для установления алгоритма и условий работы.

На этапе выбора мат. моделей мы проводим **формальное** описание системы с использованием некоторого базиса элементов, который позволяет по входным воздействиям найти выходные => множество характеризующих **параметров Q** + набор **операторов A**.

Например, задача определения BER в системе спутниковой связи:

- высота орбиты;
- излучаемая мощность;
- тип передающей антенны;
- вид модуляции;
- тип приемной антенны и т.д.

Математические модели (функции отображения + параметры) сообщения, кодера, модулятора, радиотракта, передающей антенны, среды распространения, ионосферы, тропосферы, помех, приемной антенны, радиочастотного блока, систем слежения, синхронизации, декодера и т.д.

# Формальное описание РТС

## Характеризующие параметры $Q$

можно разбить на 4 группы:

$$Q = (V, \alpha, \beta, \gamma)$$

- фазовые переменные;
- внешние параметры;
- внутренние параметры;
- выходные параметры.

**Фазовые переменные**  $V(t)$  определяют состояние системы на момент  $t$ :

- $X$  – внешние или входные фазовые переменные, образующие вектор входных воздействий (передаваемое сообщение, ионосферная задержка, помехи и т.п.)
- $Y$  – выходные фазовые переменные, образующие вектор реакции системы (оценка сообщения и т.п.)
- $Z$  – внутренние фазовые переменные, фиксирующие состояние системы на данный момент (переменные фильтров, состояние линии задержки и т.п.)



# Формальное описание РТС

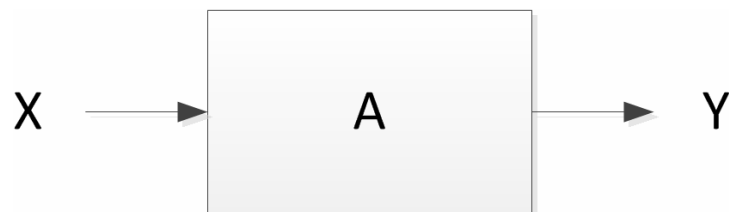
$\alpha$  **Внешние параметры** – постоянные параметры мат. моделей, определяющие характеристики входных фазовых переменных  $X$  (мощность помехи, скорость битового потока и т.д.)

$\beta$  **Внутренние параметры** – постоянные параметры мат. моделей, определяющие характеристики функциональных блоков, т.е. параметры операторов  $A$

$\gamma$  **Выходные параметры** – характеристики качества работы системы. Определяются как функция от внешних, внутренних параметров и оператора системы, а оценка – как функция реализации выходных фазовых переменных:

$$\gamma = F_1 (A, \alpha, \beta), \quad \hat{\gamma} = F_2 (Y)$$

**Оператор**  $A$  является правилом, по которому каждому элементу множества  $X$  входных фазовых переменных ставится в соответствие  $Y$ :



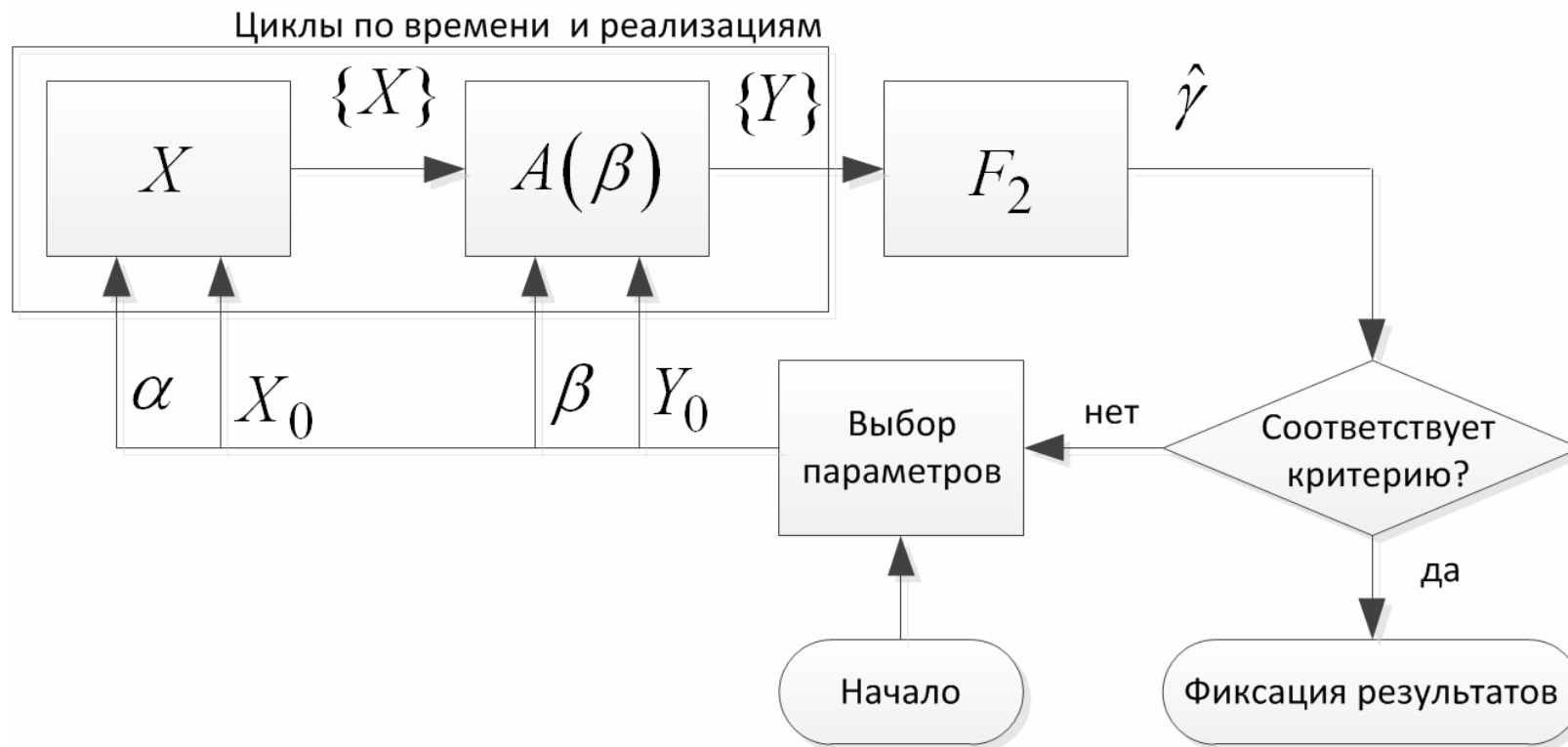
$$Y = AX$$

# Формальное описание РТС

**Типовые цели** моделирования РТС:

- определить  $\gamma$ ;
- найти  $\alpha, \beta$ , при которых  $\gamma$  соответствует заданному критерию.

**Типичная блок-схема** компьютерной модели:



# Типичная структура программы

```
1 - clear all; clc; close all; % Очистка
2
3 - T = 0.001; % Шаг по времени
4 - qcno_dB = [15 30 45]; % Варьируемый параметр
5 - N = 10000; % Объем статистики
6 - F = [1 T; 0 1];
7 - t = 0:T:100*T; % Ось времени
8
9 - xn = nan(1, N); % Выделение памяти под массивы
10 - xq = nan(1, length(qcno_dB));
11
12 - for q = 1:length(qcno_dB) % Цикл по c/ш
13 -
14 -     for n = 1:N % Цикл набора статистики
15 -         ksi = randn(1,length(t)) / qcno_dB(q);
16 -
17 -         X = [0; 0]; % Инициализация переменных
18 -         for k = 1:length(t) % Цикл по времени
19 -             X = F*X + ksi(k); % Моделируемый процесс
20 -         end
21 -
22 -         xn(n) = X(1); % Сохранение статистики
23 -     end
24 -
25 -     xq(q) = std(xn); % Обработка статистики
26 - end
27
28 - figure(1); % Вывод результата
29 - plot(qcno_dB, xq)
30 - xlabel('q_{c/n0}, dBHz');
31 - ylabel('std x(end)');
```

Подготовка среды

Определение параметров

Выделение памяти

Цикл варьирования параметров

Цикл набора статистики

Цикл реализации

Обработка и вывод результатов