



**Карьера  
после диплома**



Исследование и разработка  
методов цифровой обработки  
сигналов в авиации

Татарчук Иван Александрович

# О докладчике

Образование – МТУСИ, магистр, год окончания - 2013

Направление подготовки – 210700, факультет СиСС, кафедра МТС

Место работы : ФГУП НИИас, инженер – разработчик 2006 - ....

ОАО НИИМА «Прогресс», консультант 2013...

Отдел ИиВД МТУСИ , м.н.с 2014 - .....

Место учебы : МТУСИ, очная аспирантура, кафедра МТС



# Задачи доклада

- Рассмотреть роли научной и инженерной деятельности и в отрасли связи (ИКТ)
- Проследить изменения в отрасли связи и соответствующие им изменения образования
- Рассмотреть проблему цифрового разрыва и особое положение РФ в аспекте этого явления
- Рассмотреть основные научные задачи для отрасли связи в гражданской авиации



# Виды исследований

- Исследование – процесс, заключающийся в поиске новых знаний об окружающем мире.
- Научное исследование – исследование, проводимое с помощью научных методов.

Исследования бывают:

- Фундаментальные (напр. астрономия)
- Прикладные (напр. теория связи)



# Инженерная и научная работа

Научная работа – деятельность направленная на получение и применение новых знаний.

Начинается с постановки проблемы и заканчивается нахождением решения.

Результат – новые знания, методы, технологии.

Инженерная работа - деятельность направленная практическое приложение знаний, в виде конструирования машин, устройств и поддержание их работоспособности.

Начинается с постановки задачи, и заканчивается внедрением решения в производство.

Результат – новые знания и устройства.

# 3-я Научно-техническая революция

Условное начало – 1950 г.

Условный конец – 2000 г.

Основные изобретения :

1947 г – разработан и представлен биполярный транзистор, Бардин – Шокли – Браттейн.

1959 г – в США разработана и представлена ИС.  
Применение – СУ для УРС.

1965 г – в СССР разработана и представлена ИС.  
Применение – аналогичное.

# Парадигма образования

**Парадигма** – набор методов, средств, и концепций для постановки решения научных проблем, господствующая в определенный период в научном обществе.

В **техническом образовании парадигма** – набор концепций и методов, позволяющих готовить специалистов необходимых современной промышленности.



# Образование до 1950 г

- После обучения выпускник может работать непосредственно на производстве(узлы связи) и разрабатывать новое оборудование.
- Инженер может выполнить ремонт большинства устройств на месте их эксплуатации.
- Теоретические результаты не всегда можно проверить на практике в полном объеме.
- Основные положения теории связи и передачи информации еще не входят в учебники по теории связи(!)
- Технологии не меняются, а лишь совершенствуются отдельные узлы оборудования.
- Отрасль связи сравнительно мала

# Образование после 1950 г

- После 5 лет обучения выпускник может работать на производстве, с дообучением. Может разрабатывать новое оборудование, с дообучением.
- В процессе работы необходимо изучать новые технологии и решения
- Инженер может выполнять ремонт известных ему устройств.
- Теория связи преподается и развивается
- Оборудование усложняется, постоянно модернизируется, поэтому студенты изучают схемотехнику, но не конкретные образцы техники
- Отрасль связи – всеобъемлюща



# Образование после 1980 г

- После 5 лет обучения выпускник имеет теоретическую базу и практическую базу позволяющую изучать стандарты и технологии. После дообучения может разрабатывать и эксплуатировать оборудование связи.
- Стандарты связи успевают кардинально измениться за 5 лет обучения.
- Инженер связи не выполняет ремонт устройств, в силу их сложности, и неремонтопригодности.
- Передача дискретных данных и методы кодирования и цифровой обработки сигналов, теория телетрафика - основные темы обучения.
- В обучении используются ПК, компьютерное моделирование преобладает в образовании и работе.

# Цифровой разрыв (digital divide)

Цифровое неравенство это – разрыв между индивидуумами, предприятиями, географическими областями с разными социально-экономическими возможностями относительно использования ими инфокоммуникационных технологий, и в частности Интернета, для широкого спектра действий.

Задача ученых инженеров в области ИКТ – ПРЕОДОЛЕНИЕ цифрового разрыва (по МСЭ).



# Цифровой разрыв - это бизнес\*

## (теория заговоров)

Преодоление цифрового разрыва – задача развитых и развивающихся стран. Наиболее эффективная мера с точки зрения производителей технологий и оборудования - повсеместное развитие инфраструктуры и внедрение оборудования .

Последствия :

- Зависимость от поставщиков
- Стагнация технологий

\*Kemly Camacho “Digital Divide” 15 may 2006 (*Word Matters: multicultural perspectives on information societies. This book, which has been coordinated by Alain Ambrosi, Valérie Peugeot and Daniel Pimienta was released on November 5, 2005 by [C & P Éditions.](#)*)



# Особое положение РФ

- Не производится собственная элементная база
- Существует(!) система технического образования ученых и инженеров
- Неразвитая инфраструктура
- У половины населения нет возможности использовать Интернет (46,7 % на 06.13)
- Большие потребности ВПК в ИКТ



# Гражданская авиация

- 27 тыс. – только авиалайнеры
- ~ 100 тыс. – гражданские ЛА
- 30% от числа всех ЛА – БПЛА

ГАА и МинТранс ожидает удвоение числа ЛА и БПЛА и авиaperевозок к 2020 (заявление 2002 года)



# Авионика и ОВД

- **Авионика** – совокупность радиоэлектронных средств и систем установленных на борту летательного аппарата(ЛА).
- **Организация воздушного движения** – комплекс организационных мер и оборудования позволяющих обеспечивать безопасность полетов и соблюдение летного расписания аэропорта.



# Важнейшие подсистемы для ОВД

Связь – УКВ аналоговая рация (прямая видимость)

Наблюдение – радары (100 км)

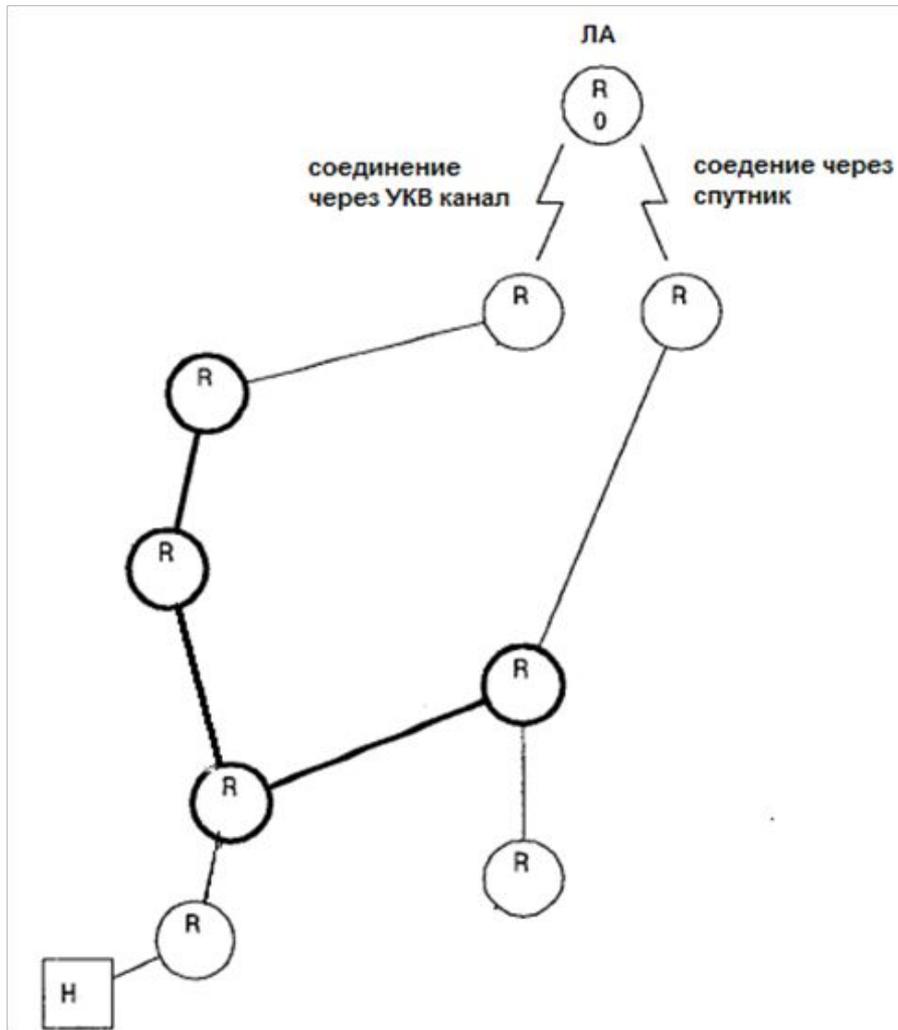
Навигация – инерциальные системы,  
системы позиционирования (точность до  
5 км)



# АТН –единство

- **Сеть авиационной электросвязи (АТН)-** межсетевая структура, которая позволяет обеспечить взаимодействие наземной подсети передачи данных, подсети передачи данных "воздух– земля" и подсети передачи данных бортового оборудования в результате принятия общих режимов и протоколов интерфейса, основанных на базовой модели взаимосвязи открытых систем (OSI) Международной организации по стандартизации (ИСО).

## Упрощенная структура АТН сети



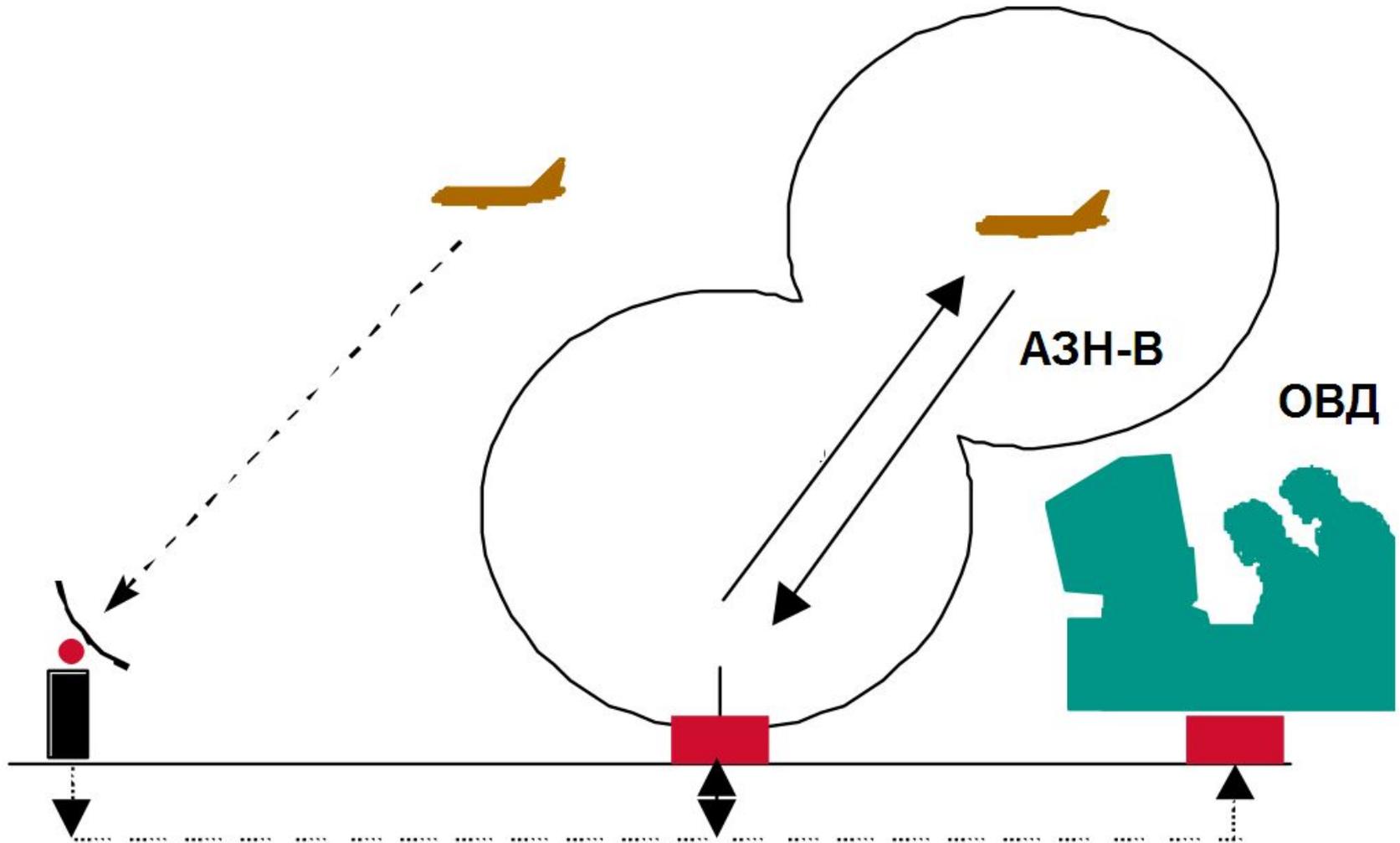
Концепция сети АТН предполагает:

- Сетевую мобильность – отправитель сообщения не знает местоположение получателя, вопрос доставки решает сама сеть.
- Возможность одновременного использования нескольких параллельных каналов связи (как УКВ так и спутниковые каналы)
- Возможность переходить на системы с низкой скоростью передачи
- **Стандартизация услуг УВД**

## Применения ATN:

- **АЗН(ADS)- автоматическое зависимое наблюдение, предполагающее, что каждый участник воздушного движения будет регулярно сообщать свои координаты диспетчеру(тип АЗН-К - контактное, через unicast-сообщения) и, по возможности, другим участникам движения(АЗН-В – широковещательное; каждый ЛА посылает широковещательные сообщения, прослушивает эфир, получает данные радарной картины ); таким образом у диспетчера, и ,если возможно, у каждого участника складывается полная радарная картина воздушного пространства, без использования радарных комплексов, то есть наблюдение –зависит от самих ЛА, и не зависит от наличия радарных комплексов.**
- **Услуги цифровой полетной информации(Digital – flight information services ) – передача цифровой информации о летных условиях(погода, облачность и. т.д)**
- **Контекстную службу сообщений – позволяющую ЛА регистрироваться в новой ATN подсети, что бы обмениваться данными.**
- **Канал связи управления пилотом – (CPDLC –controller pilot data link communication)- предполагает замену голосового общения и управления на цифровые сообщения.**

# ОВД



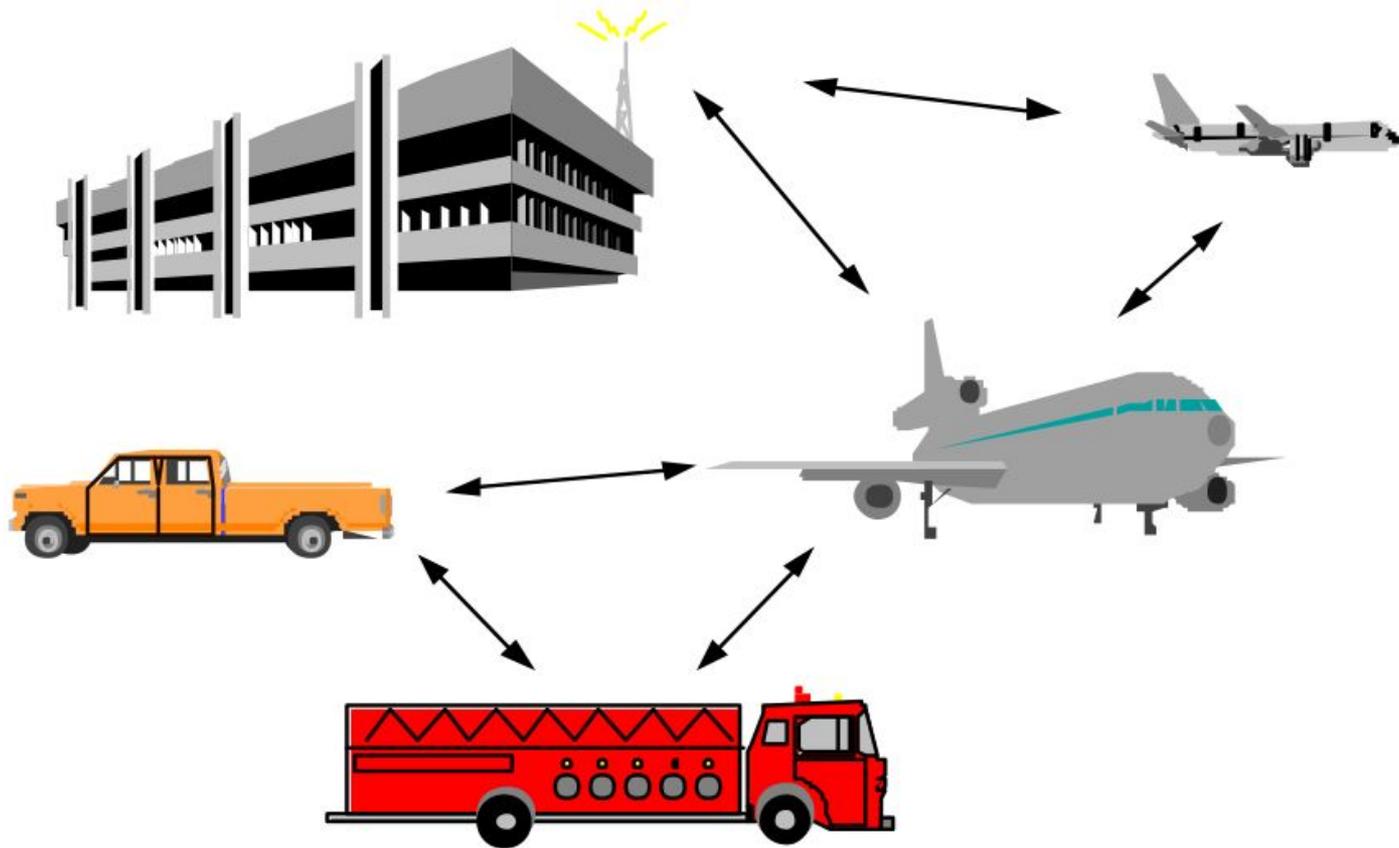
В модели нет БПЛА. Воздушное пространство должно быть сегрегированным

# Very high frequency Data link mode 4

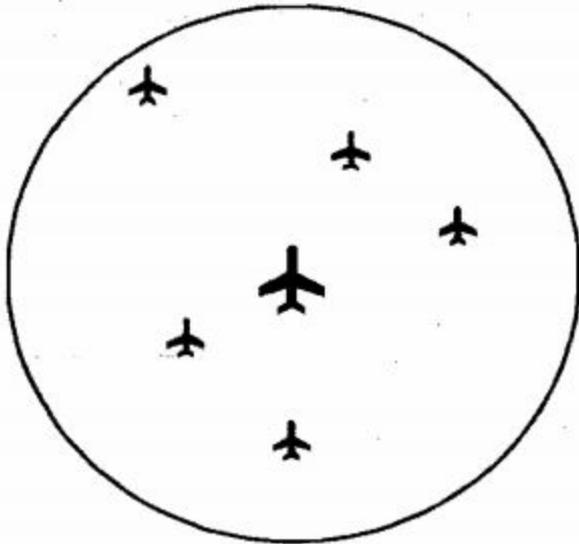
УКВ канал передачи данных режима 4 :

- Скорость передачи 19.2 кбит/с
- Модуляция и формирующий фильтр - GFSK, коэффициент полосы 0,28
- Метод доступа к среде – **STDMA(Self-Organized Time Division Multiple Access), синхронизация по UTC через GNSS, ptp, бортовые часы**
- Разнос частот – 25 кГц CCI - ~12dB
- Поляризация излучения – вертикальная
- **Находиться в стадии доработки. Имеет библиотеку передаваемых сообщений, и протоколов. Разработан для автономной работы в режиме АЗН-В**

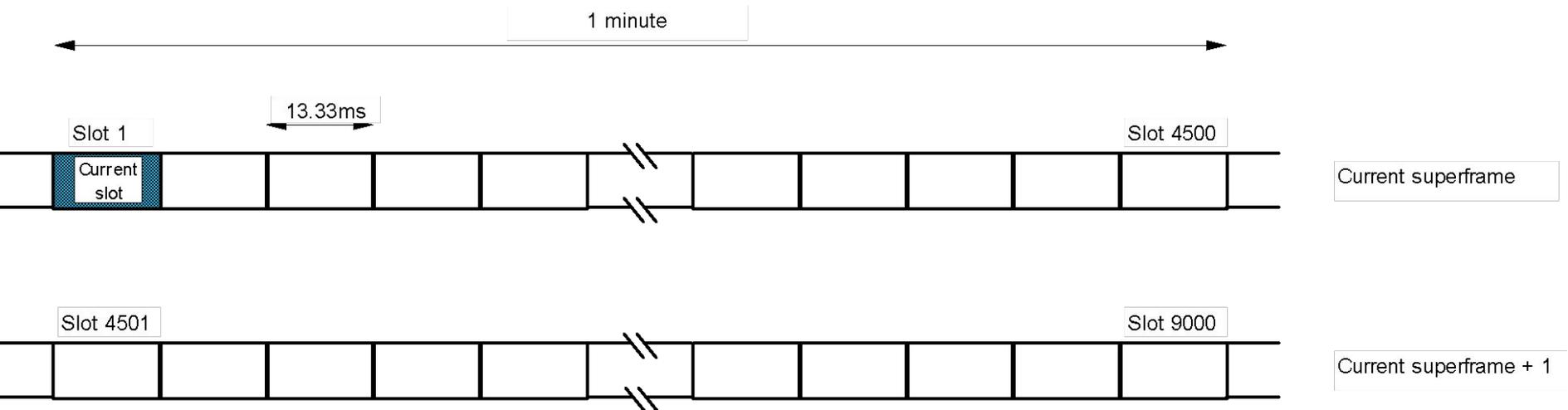
# АЗН –В повсеместно



# Структура карты слотов VDL-4



**4500 слотов в минуту, по 13.3 мс**  
**Слоты могут быть зарезервированы.**  
**Имеются два GSC канала.**  
**Дальность радиогоризонта ~200**  
**морских миль (360 км)**



# Возможности и достоинства VDL-4

- Временная синхронизация через схему многостанционного доступа с самоорганизацией (STDMA) по UTC и протоколы резервирования таймслотов и случайного доступа – минимизировать время регистрации в сети и гарантировать соблюдение качества обслуживания (гарантия передачи пакета и свободы канального ресурса) загруженных воздушных зонах – идеально подходит для АЗН
- Схема многостанционного доступа позволяет организовать связь без участия наземной станции(для временной синхронизации), и устанавливать соединения между ЛА. – т.е организовать сеть связи, по типу каждый с каждым(в одной «соте») – т.е протоколы ретрансляции пакетов через одну станцию.
- Использование дополнительной защиты от помех смежных каналов соседних сот(переходных помех) – сужение соты
- Сообщения АЗН-В передаются в автоматическом режиме, без участия пилота и наземной станции

# Недостатки VDL-4

- Организация сети связи возможна лишь в пределах радиогоризонта. Сообщения о резервации слотов от ЛА находящихся на границах радиогоризонта могут быть проигнорированы в соответствии с алгоритмом уменьшения помех каналов смежной соты(принцип Робин Гуда)
- Каждый GSC имеет смысл лишь для определенной зоны авиaprостранства(или соты), поэтому в загруженных аэропортах, ЛА встречающие по курсу объекты радиоинтерференции или имеющие срочную информацию для сообщения наземным службам должны быть достаточно близко для гарантии того, что занятый им таймслот будет принят наземной станцией

# Задачи ученых и инженеров в области авиационной связи

- Разработка стандартов авиационной связи
- Разработка оборудования соответствующих стандартов.
- Повышение эффективности.
- Повышение безопасности.
- Проведение метрологических испытаний и сертификация оборудования
- Нахождение применения систем связи для решения ранее поставленных задач в ГА.

# Разработка оборудования

Задача инженера системщика – синтез блоков приема и формирования сигналов на основе положений теории связи с учетом ограничений на элементную базу.

Задача инженера схемотехника – синтез структуры всех плат, подбор компонентов и элементной базы устройства.

# Уравнение модуляции

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi(t, I(n)) + \varphi_0)$$

Где  $f_c$  – частота несущей, она же центральная частота сигнала,  $\varphi_0$ -начальная фаза сигнала, а  $\phi(t, I(n))$  –меняющаяся во времени фаза несущей, которая описывается как:

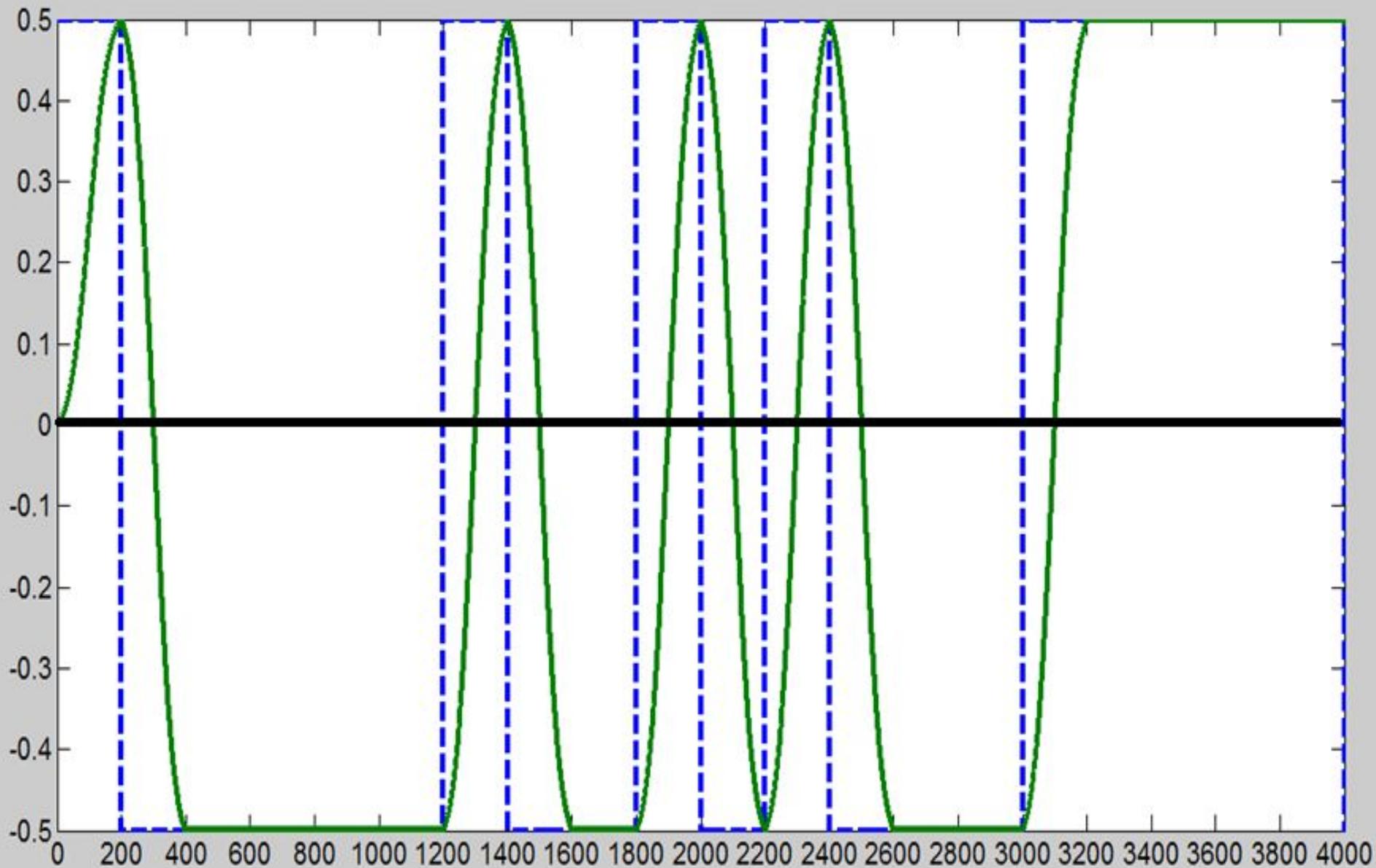
$$\phi(t, I(n)) = K_{\text{пг}} \int_{-\infty}^t d(\tau) d\tau = K_{\text{пг}} \int_{-\infty}^t [\sum_n I_n g(\tau - nT)] d\tau$$

$g(\tau - nT)$  – функция, описывающая информационный(модулирующий) импульс.

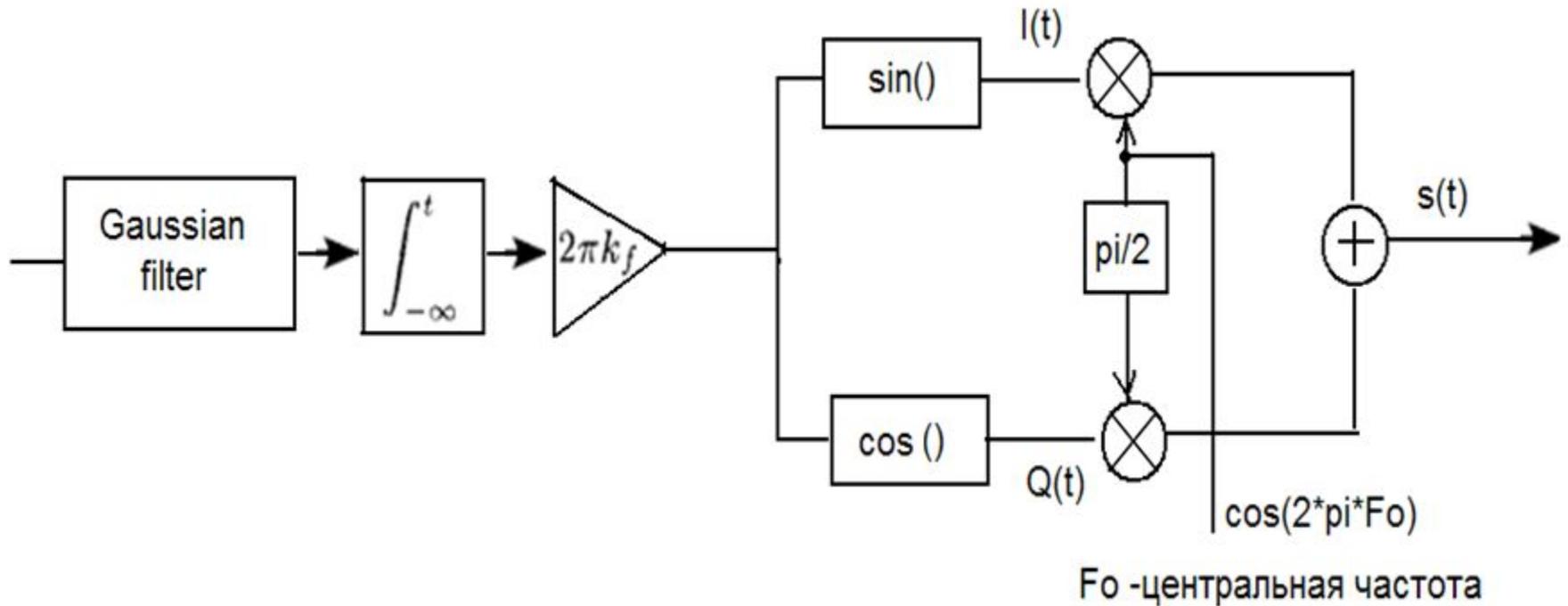
$K_{\text{пг}}$  – индекс модуляции

$K_{\text{пг}}$  коэффициент пропорциональный индексу модуляции

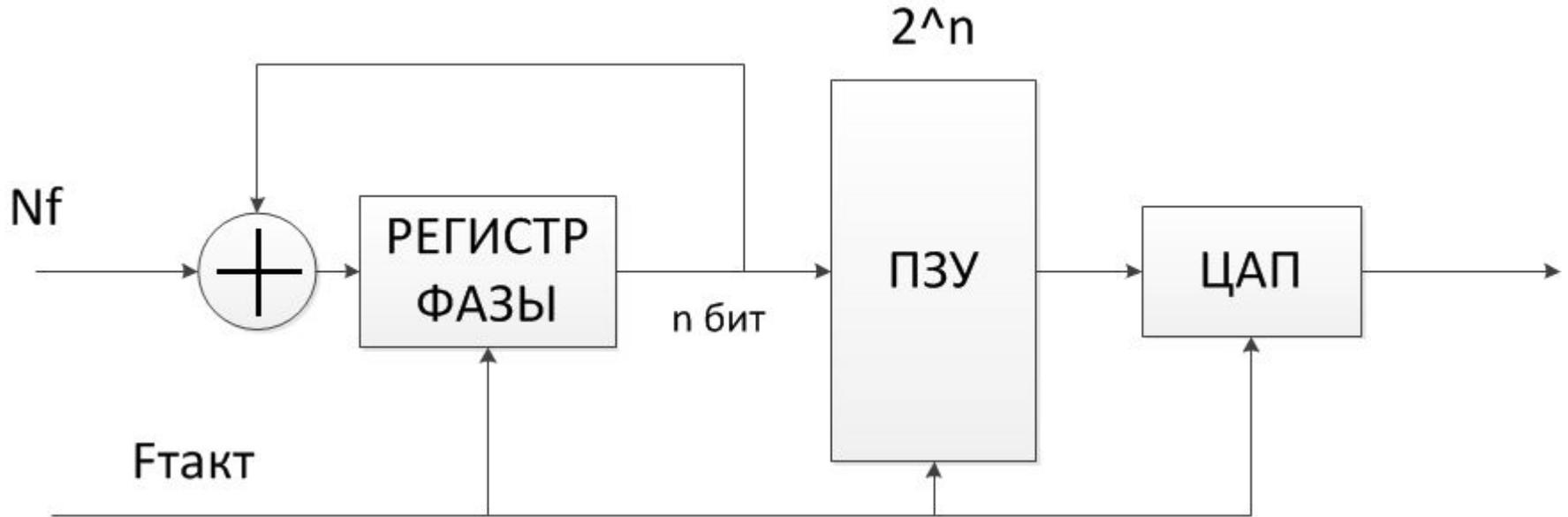
# Форма модулирующих импульсов



# Математическая модель метода формирования сигнала на основе ГУН



# Простейший генератор прямого цифрового синтеза



Шаг считывания из таблицы ПЗУ=«код частоты»

$$f = N_f \frac{f_d}{2^n}$$

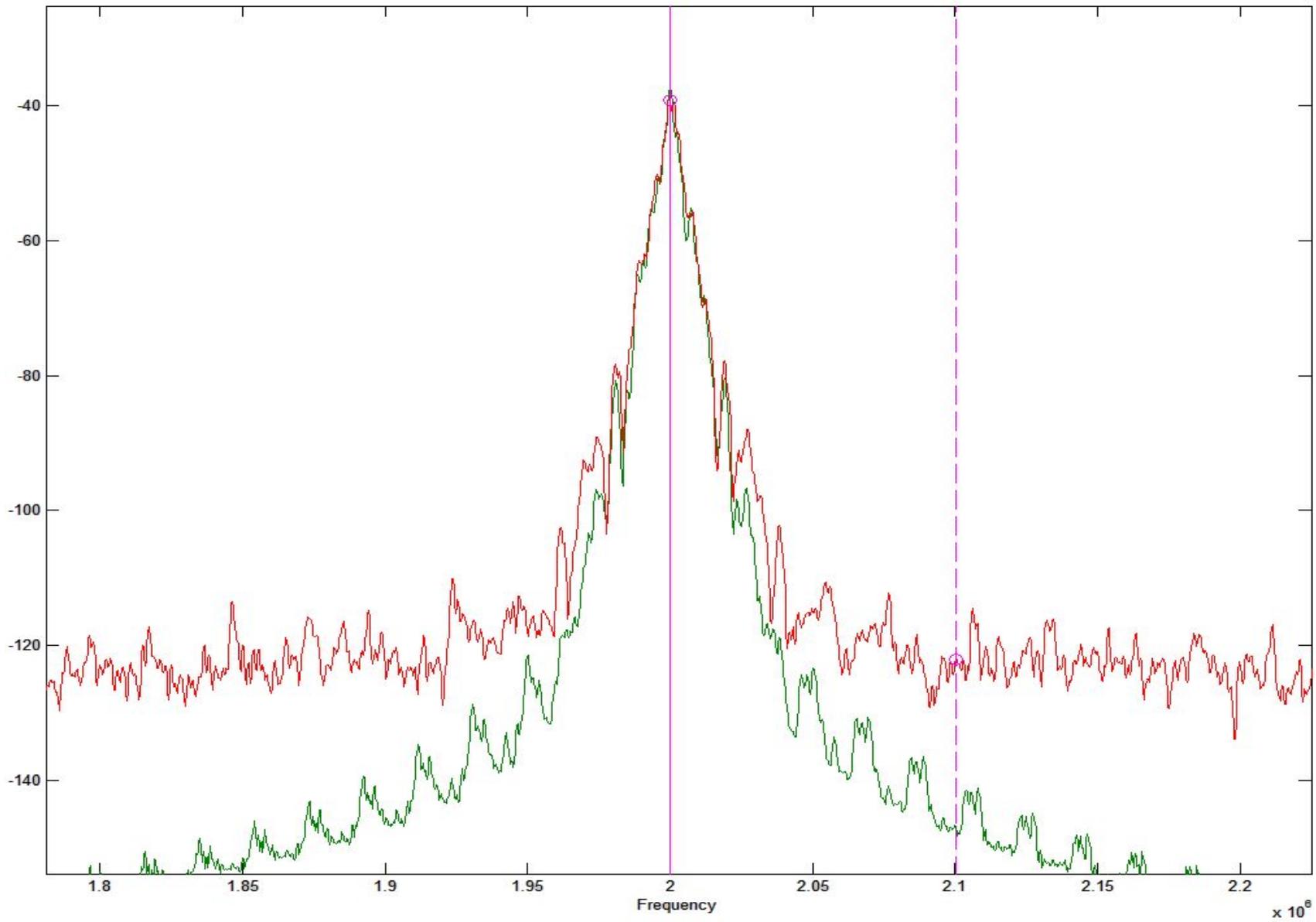
$f$ -требуемая частота,  $n$ -разрядность регистра,  $f_d$ - частота дискретизации

разрешение по частоте  $\Delta f = \frac{f_d}{2^n}$

типичная разрядность  $n=[32:48]$

# Спектр сигнала сформ. методом DDS

Power Spectra

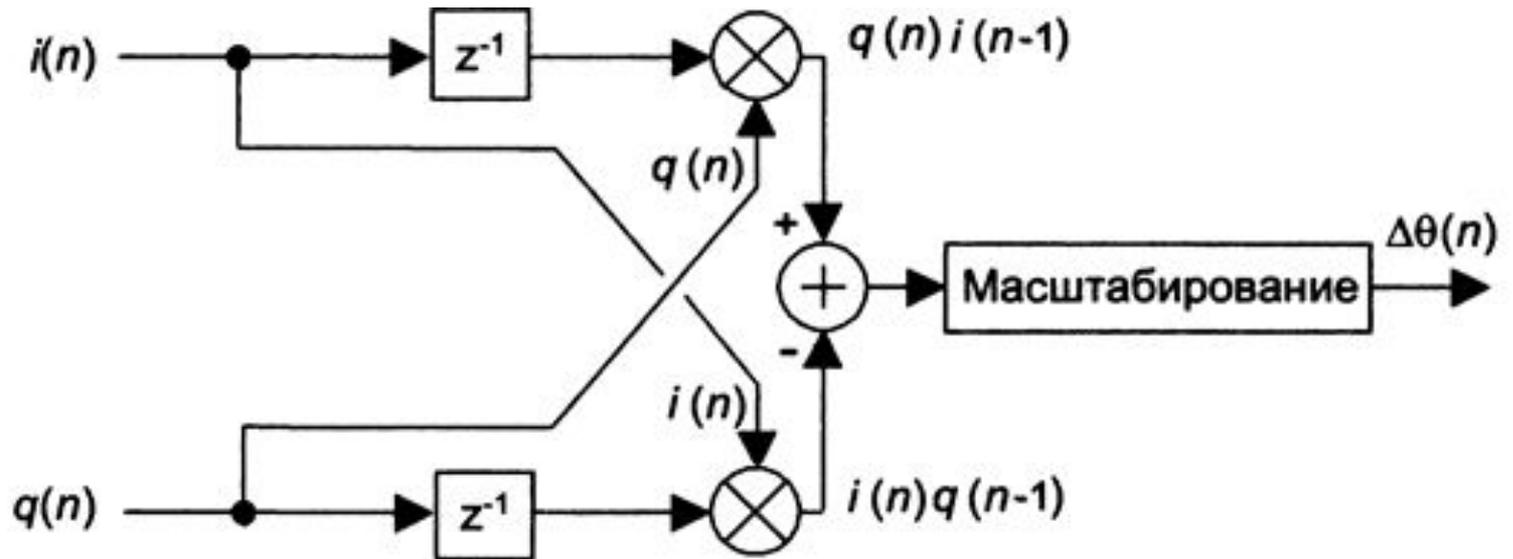


Marker 1 x: 2000122.0703  
y: -39.1507

Marker 2 x: 2100219.7266  
y: -122.1619

dx: 100097.66  
dy: -83.0112

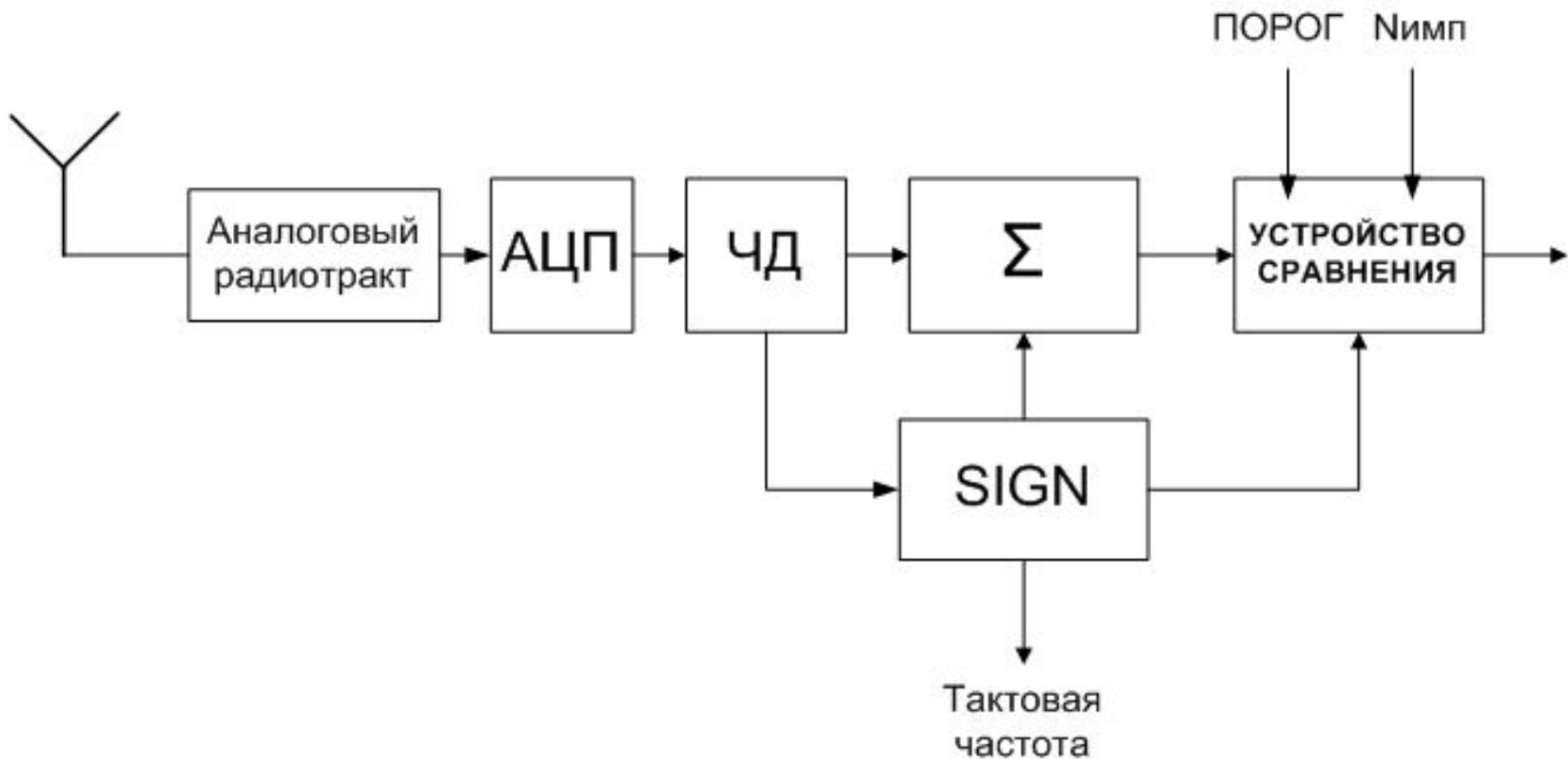
# Структурная схема частотного детектора



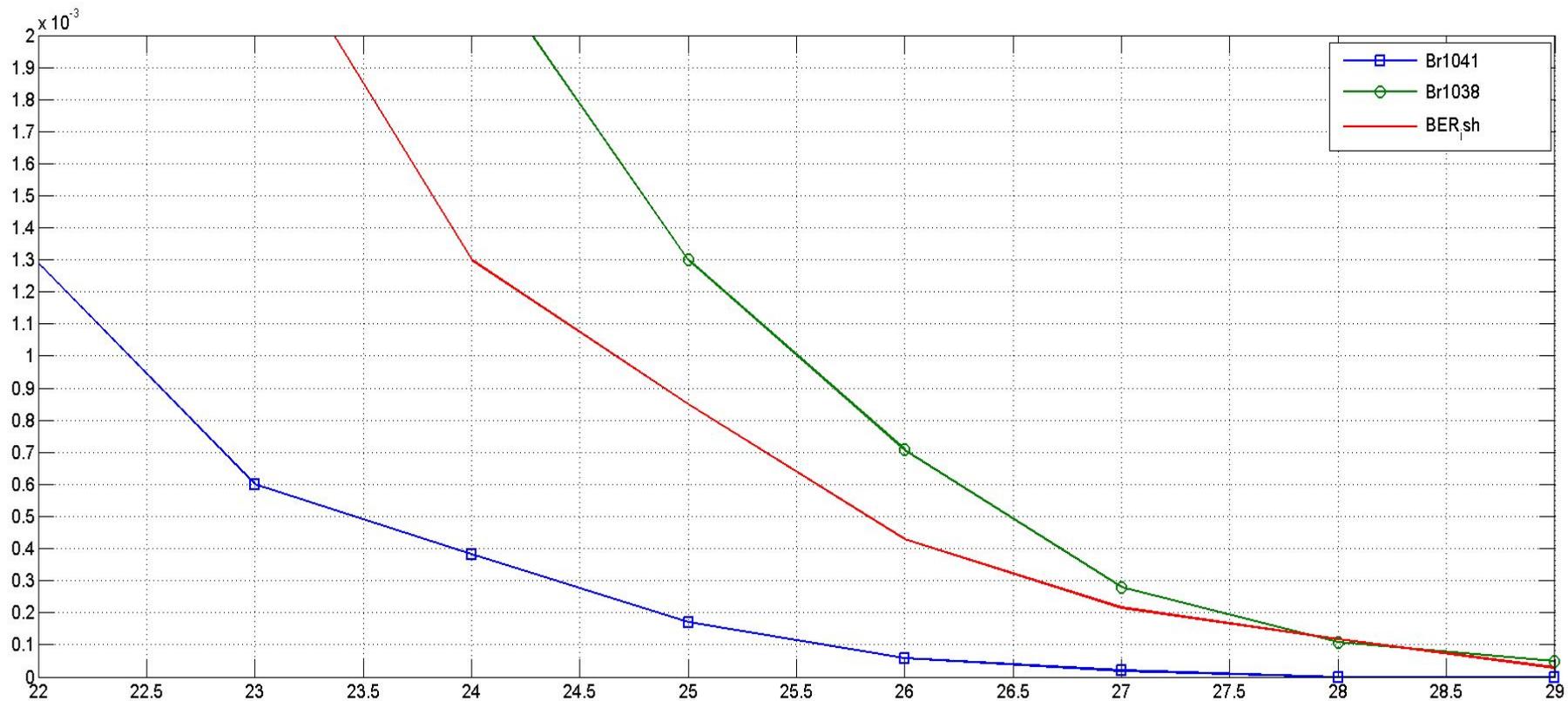
$$\hat{\theta}(t) = \arctan(r(t))$$

$$\hat{\theta}'(n) = \frac{q(n)i(n-1) - i(n)q(n-1)}{i(n)^2 + q(n)^2}$$

# Структурная схема приемника



# Исследование помехоустойчивости



# Метрология

Проведение измерений сигнальных параметров оборудования на соответствие требований стандартов :

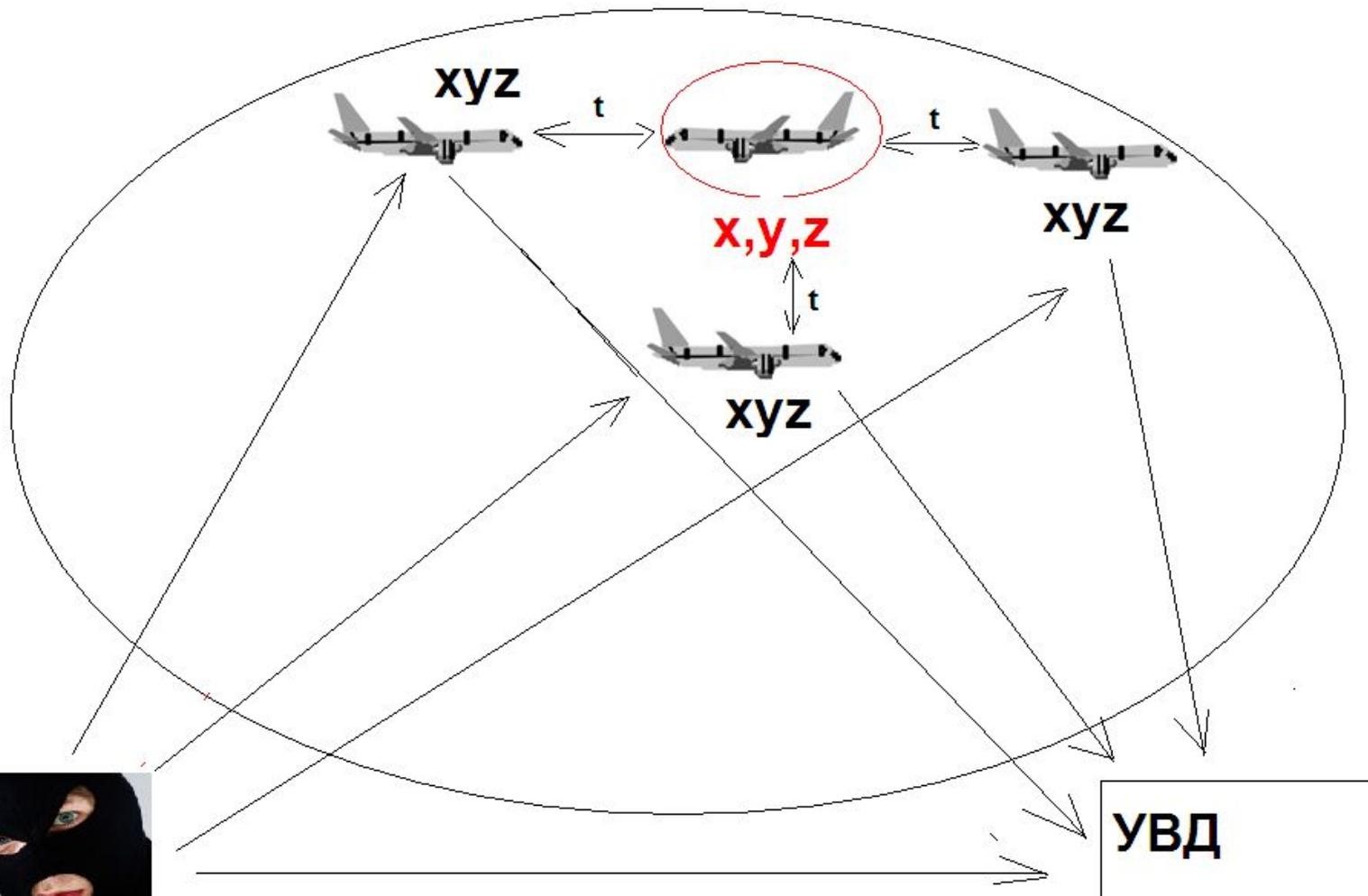
- Разработка стендов по измерению параметров сигналов
- Разработка стендов полунатурного моделирования
- Разработка стендов сертификации

# Повышение безопасности

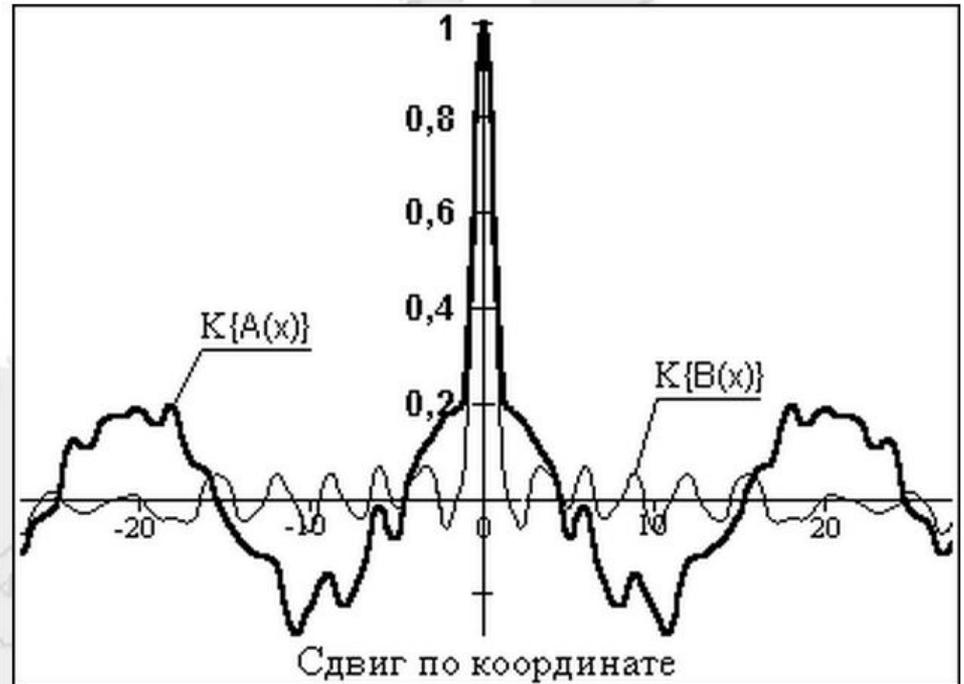
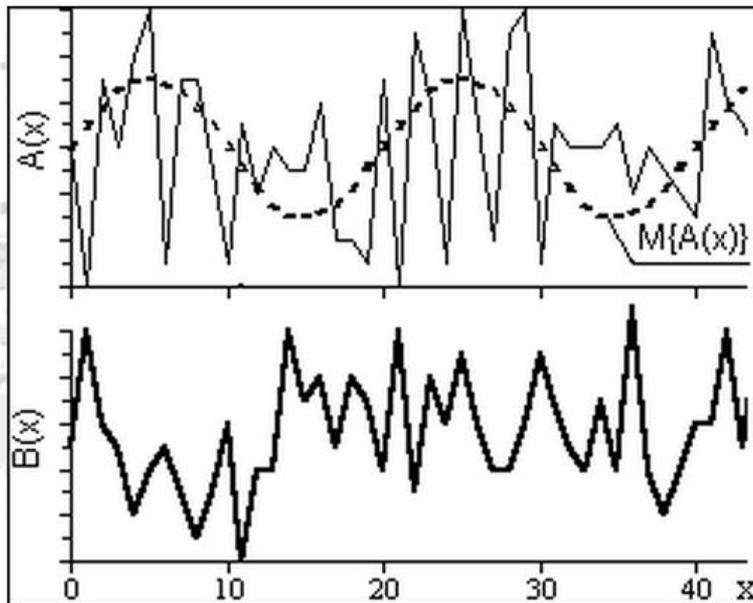
Разработка механизмов защиты от фальсификации данных АЗН-В:

- Шифрование (известный путь).
- Определение истинного местоположения по времени прихода сигнала (вторичная радиолокация на основе информационного сигнала).

# Модель угрозы



# Корреляционные методы



# Новое применение

- Динамические сети передачи данных
- Системы позиционирования
- Замена аналогового вещания

---

# Спасибо за внимание!

Контакты автора лекции  
можно в несколько строк



**КПД**